Science Council of Canada

A workshop on Artificial Intelligence

Sponsored by the
Science Council of Canada

Proceedings 83/1

A WORKSHOP ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

August 1983

Proceedings are published by the Science Council of Canada to share with a wider audience of interested readers the ideas and perspectives brought to Council conferences or seminars by experts in a variety of fields. The papers presented and views expressed in these Proceedings are not necessarily endorsed by the Science Council.

Copies of

A Workshop on Artificial Intelligence
A Proceedings

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario.
K1P 5M1

Des exemplaires du
Compte rendu de l'Atelier sur l'intelligence artificielle
sont disponibles gratuitement

©Minister of Supply and Services, 1983

Catalogue No. SS24-19/1983E
ISBN No. 0-662-12716-1

CONTENTS

Foreword 5

I. INTRODUCTION 7

Artificial Intelligence 9

History of AI 14
A Diverse Introduction 14
From Dartmouth to Ottawa 16

II. TOPICS IN AI RESEARCH 21

Topic I: Knowledge and the Computer 23
Expert Systems 23
Knowledge Representation and Logic Programming 27
Question-Answering Systems 30
An Aside! Tree Graphs and Combinatorics 32
Conclusions 35

Topic II: Natural Language and Machine Translation 37

Topic III: Vision and Speech 41
Computer Vision 41
Speech Recognition and Synthesis 45

Topic IV: Applications and Effects 49
The Office of the Future 49
Long-Range Planning and Decision Making 50
Hardware and Theory 52
Computer Hardware 52
Role of Theory 53

General Summary 55

III. A POLICY FOR AI 57

The Issues 59
Research Funding 59
Government: Leader or Adviser? 61
Leadership: Tomorrow is Too Late 62
An AI Research Centre 62
AI and Technology Transfer 64

Policy Recommendations 67

Agenda 69

List of Participants 72

FOREWORD

Since 1979, the Science Council has been studying the effects of computers and related technologies on industry, education, the workforce and society in general. This major project led to the publication in 1982 of Report 33, Planning Now for an Information Society: Tomorrow is Too Late. The report gave some consideration to the subject of artificial intelligence (AI). However, developments in this area are proceeding extremely quickly, and Council sensed the need to examine the social and economic implications of AI in more detail. Thus, a workshop was convened by Council on 20 and 21 January 1983.

The Ottawa workshop had the effect of acting as a catalyst to bring together members of the AI community from all parts of Canada. For two days, some 60 participants from across the country met in Ottawa to discuss the current state of AI research and consider policies for future development. Those attending included research workers from university, industrial and government laboratories as well as industrialists, policy-makers and venture capitalists.

The Science Council sponsored the workshop and offers these proceedings because, in its view, policy-makers and the public need to become acquainted with the current status of AI, not only in Canada but around the world. Citizens and their representatives should understand how the evolution of this technology will affect employment, the organization of businesses and the structure of society. In light of the new technology, governments will have to reconsider industrial policies and discover the

best ways to encourage and accommodate the development of AI. In turn politicians need information on how the new applications will benefit industry. Through the medium of the Ottawa workshop, the Science Council obtained answers to many outstanding questions about the current and future status of AI. This will assist Council in arriving at policy recommendations.

In opening the workshop, Dr. Stuart Smith, Chairman of the Science Council, posed a series of questions: *What is the general state of the institutional infrastructure in which AI is embedded? How can government best assist? How important are grants, projects, the training of personnel and the exchange of ideas?* The meeting then heard a series of overview lectures given by experts in the field. Participants were, of course, speaking with their peers and their talks and discussions ranged from the technical to reviews of topics known to their audience. Without having a general background in the field of AI, much of the material discussed over the two days would be inaccessible to the non-specialist. These proceedings are presented, therefore, as a general, self-contained picture of AI research and development in Canada rather than a collection of abstracts. The report, it is hoped, is faithful to the spirit of the workshop but goes beyond the scope of several of the talks by drawing on additional background material.

A number of people deserve special mention for the success of the workshop and these proceedings. First, Dr. Arthur J. Cordell, science adviser, who thought the idea for an AI workshop to be timely and necessary; Dr. Alfred Stein, Continuum, Toronto, was given the difficult task of setting the agenda for the meeting and preparing the master list of invitees. Finally, Dr. David Peat, consultant, Ottawa, prepared these proceedings which not only capture the flavour and excitment of the workshop, but give the reader an introduction into the area of AI itself.

James M. Gilmour
Director of Research

I. INTRODUCTION

Some idea of the diversity and rapid evolution of the field can be gained by attempting to define the term "artificial intelligence." The Oxford English Dictionary offers no definition and no topic entry can be found in the Encyclopaedia Britannica (15th edition) or the Von Nostrand's Scientific Encyclopedia (5th edition). The McGraw Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms (2nd edition) is more helpful:

> "The property of a machine capable of reason by which it can learn functions normally associated with human intelligence."

Workers in the field offer their own definitions, such as:

> "Artificial Intelligence is concerned with understanding the principles of intelligence and building working models of human intelligent behaviour."

and;

> "Artificial Intelligence is the part of computer science concerned with designing intelligent computer systems, that is, systems that exhibit the characteristics we associate with intelligence in human behaviour - understanding language, learning, reasoning, solving problems and so on."

In some of these definitions, however, the computer seems to be very far away:

> "A technical language with which to discipline the imagination."

The concept of AI also involves a general agreement as to the meaning of intelligence itself. Ed Feigenbaum of Stanford University, a noted research worker in the field, offers the following definition:

> "Intelligent action is an act or a decision that is goal-oriented, arrived at by an understandable chain of symbolic analysis and reasoning steps, and is one in which knowledge of the world informs and guides reasoning."

Other workers offer other definitions. Thus, it is probably not too profitable at this stage in the evolution of AI to attempt a single, all-embracing statement for, over its short history, the topic has radically changed in its aims and approaches. In the 1950s, AI was directed towards building an artificial brain that could duplicate a wide range of human functions. Today, research is more concerned with making realistic and practical contributions in a limited number of fields. Yet as computer systems continue to evolve and new theoretical insights are gained, AI may change direction again.

AI today is a truly integrated field of study with its theories, experiments and applications coming from computing, engineering, mathematics, logic, physics, psychology, human engineering, neurology, linguistics and other fields. Each discipline brings with it its own tools and unique approach, and it is not unusual for researchers from several disciplines to be found working side by side on a given research project.

Because there is no single agreed definition of AI nor a common background for AI workers, neither is it always possible to point to computer hardware and say, "This is a piece of AI." A large and expensive computer may carry out its tasks according to conventional mechanical procedures and embody little that could be called AI. However, an inexpensive chess playing game or the barcode reader in a supermarket checkout are both realizations of AI research. On the one hand, an industrial robot represents the frontier of AI research; on the other wrist, there may be a talking watch. Today AI encompasses not so much a single goal but rather a series of

diverse and useful applications on the way, with an increasing body of knowledge about abstract systems and insights into the functioning of human intelligence.

How well do these definitions and discussion help the layreader to become oriented in this rapidly changing field?

In simple terms, AI is an area of research and application involving computers that behave in ways we can recognize as intelligent. An AI computer, along with intelligent beings, must be able to understand something of the world around it and to use this understanding to reason, deduce, estimate and plan. The results of its electronic deliberations will be to respond appropriately to each new situation it encounters.

Intelligent computers therefore gather information about their environment and the world in general through vision, speech recognition, touch and manipulation as well as through the more conventional inputs such as typewriters, touch-sensitive screens, magnetic tape and discs. The computer stores, organizes and integrates the data with other general knowledge that is in its memory banks. Next the computer uses all its background information, together with data specific to its present task, and arrives at a solution to a problem, requests further information or takes some other form of intelligent action. The computer acts through printout, video displays, voice conversation or movement of articulated limbs.

At one time, AI workers sought to embody all these abilities within a single robot or supercomputer. However, the venture proved overly ambitious and, just as life on earth, AI has evolved through a process of specialization. Today AI devices are beginning to fill several of the niches in the informational landscape. These include computer vision, expert systems, machine translation, picture processing, question-answering machines, industrial robots, decision-making systems, office machines and intelligent information banks. Each of these devices employs several

principles of AI and these principles and important applications were discussed at the Ottawa Workshop.

Does society need AI? What need is there to build machines that will duplicate human activities?

Unemployment in Canada and many other western nations has become a serious problem, but this topic was not raised. It is difficult to predict the nature of the information society by the end of the twenty-first century, but in the immediate decade the computer will probably act as partner rather than a competitor in the workplace. The reason lies in the computers special abilities and serious limitations. As one participant put it:

> "There are some things we can do so well that we don't even think about them; they're unconscious. These happen to be the very things that computers find hard to do. On the other hand, computers are excellent at making routine calculations and doing the sorts of things we find boring."

At present computers offer no competition in the activities humans enjoy doing and performing well. Computer vision is a good example of this state of affairs. Electronic vision systems are particularly stupid when it comes to recognizing complex objects; their abilities are taxed even by simple, solid objects in a well-designed background. Humans, on the other hand, are marvellously skillful at this and can spot something like a small bird in a landscape or recognize the face of a friend in a moving crowd. In the immediate future computers will certainly not compete with humans in this field of general vision.

However, the computer's "eye" can make accurate measurements of simple shapes it has been trained to see. The computer can rapidly scan a series of photographic plates containing elementary particle tracks and pick out an anomaly or new event. To perform the same task, a human observer would need technical training and the assistance of an accurate measuring

apparatus. The human would be far slower, more prone to error and would find the task particularly tedious. In the field of vision, therefore, the computer will act as assistant to relieve humans of tasks they do not wish to perform.

To take another example, the artist's studio or the craftsman's workplace would prove chaotic to the robot, where the need to adapt to each new, creative task would stretch its capacities to the limit. However, the well-designed environment of the conveyor belt is congenial to the industrial robot. Provided a robot can carry out endless repetitions, involving the sort of tasks a human would find "soul destroying," it remains efficient.

Intelligent robots also have the potential to extend human abilities. They can work with the very small (microsurgery and printed circuitry) or the very large (manipulate heavy machinery). They can also work in areas that humans find hazardous such as nuclear plants, chemical works, outer space and the ocean bed. At present, robots and AI computers seem best adapted to carry out the very tasks that humans cannot or have no wish to do. At this stage in the development of AI, it appears that silicon and carbon-based intelligences are in no danger of competition but may eventually coevolve through a process of symbiosis.

A Diverse Introduction

The design of a machine that will duplicate the behaviour of humans has resonances in the myths of Pygmalion's living statue, Paracelsus's homoncule, Rabbi Loew of Prague's Golem and the clockwork mannikins of the eighteenth century. Indeed one of the great arcane secrets of the Middle Ages was the creation of life from inanimate matter. Several of the founders of the science of artificial intelligence have spoken of believing themselves to be the heirs to this tradition.

The first realization that it would be possible to duplicate the functions of human intelligence by machines came about in the 1940s. Early computers were crude by contemporary standards, but their designers realized that their electronic circuits imitated certain processes in the brain. At the time, research workers in cybernetics and neurology predicted that, in principle at least, it should be possible to build a computer that would approximate many of the abilities of the human brain. This electronic intelligence would have an enormous effect not only industrially but also on society as a whole. These visionaries also realized that the computer would be a valuable new tool for exploring that greatest of scientific mysteries - the nature of the human brain.

The first workers in AI were, in fact, exploring a comparison that has often been made between the brain and the most complex technology of a particular period. In the eighteenth century, for example, the brain was supposed to carry out its controlling function on hydrodynamic principles.

Impulses from the brain were directed to the body's organs by means of fluids travelling in narrow tubes. Thus the elaborate play of eighteenth-century fountains became a model for animal behaviour.

In the nineteenth century, the control of new industrial machines by governors attracted scientific attention. Through the study of these governors the principles of "feedback" were discovered and related to homeostasis in animals. By the twentieth century these investigations led to the sciences of cybernetics and general systems theory.

Early in the twentieth century, the brain was modelled on a telephone system with nerves relaying incoming and outgoing signals to a central switchboard. By the 1950s, the switchboard was forgotten and the brain had become a computer in which information is stored and processed.

However, each of these early metaphors is strictly limited in its application. What first appeared to be a promising image, in the end turns out to encompass only a very small part of the brain's total behaviour. The brain, for example, uses the principle of feedback to control certain internal bodily functions, but it also does far more than that. Reflex actions involve the passage of electrical messages to a "switchboard" in the brain or spinal column; but nerves do not operate in the same way as telephone lines and the brain is more than a switchboard.

Today, neurologists realize that the human brain does not operate in the same way as a computer yet the metaphor of "artificial intelligence" is still a valuable one. AI research continues to yield important applications and provides insights into the nature of human vision, language, speech and intelligence. However, history warns us that, in the last analysis, the metaphor of the "computer as brain" may well be replaced by yet another image.

From Dartmouth to Ottawa

The origins of AI as a recognized discipline date from a conference held at Dartmouth College in 1956. There Claude Shannon, Marvin Minsky, John McCarthy, Allan Newell, Herbert Simon and other leading researchers met to define the future directions of AI.

To a large extent, the foundations of the field had already been laid by the time of the Dartmouth Conference. In 1943, for example, Warren McCulloch and Walter Pitts had made a theoretical study of neurons in the brain and deduced that they operated as binary (on-off) switches. The two researchers went on to show that a network of such switches could duplicate all the functions of symbolic logic. This was a surprising and important result for it demonstrated that a collection of simple objects (on-off switches) that also happened to be the building blocks of a computer, were capable of carrying out complex logical operations.

In 1948, Norbert Wiener published Cybernetics in which he drew analogies between the mathematics of servo-mechanisms and the internal behaviour of biological systems. In the same year, Claude Shannon gave a mathematical formulation of information and noise.

By 1950, scientists were taking computer intelligence seriously enough for Alan Turing to propose a test that would determine the extent to which a computer could be judged intelligent. Turing proposed the following: you hold a conversation with some unknown entity by means of written messages. At the end of the conversation you are asked if your unseen partner is human or not. If you judge that a human intelligence was involved in the exchange and the unseen message writer happens to be a computer, then that electronic machine must indeed be judged intelligent. (Turing's test seemed eminently reasonable three decades ago but today we know that the computer doctor and psychiatrist can lull some people into the illusion that they are speaking to a sympathetic human. Is it possible that humans are less intelligent than was once thought!)

In 1952, W. Ross Ashby's Design for a Brain explored more mathematical models of the brain. By 1956, therefore, the theoretical implications of computers, neural networks, information and cybernetics had been much discussed. The future of AI looked promising and the mood of the Dartmouth Conference was highly optimistic. Participants predicted that by 1970 a computer would become a grand chess master, discover significant mathematical theorems, compose music of "classical quality," understand spoken language and provide language translations.

Several research projects were also initiated at Dartmouth which were equally ambitious;

- a complex system of artificial neurons that would begin to function as an artificial brain;
- a robot that would build up an internal picture of its environment;
- a computer program to derive the theorems of the Principia Mathematica;
- a chess playing grandmaster that would also provide significant insights into the nature of human intelligence; and
- a model of the brain's visual cortex.

However, by the early 1960s, the optimistic mood of Dartmouth soured as it became clear that AI involved problems far more complex than anyone had imagined. The various projects proposed in 1956 failed to produce significant results and the difficulties involved were not always clearly understood.

AI had promised much but delivered little of substance with the result that, by the late 1960s, interest in AI had declined. Efforts in machine translation, for example, exposed the subtleties and difficulties inherent in understanding natural language but produced little in the way of commercially attractive translation programs. In 1966, the major US project in machine translation was terminated. Problem solving also ran into serious difficulties when it was discovered that the "solution space"

required (the number of possible alternative solutions that the computer would have to investigate), for any fair sized problem, was far too large for existing computers and would involve excessive amounts of computer time. (See "An Aside! Tree Graphs and Combinatorics," page 32.)

By the end of the 1960s, AI had entered a wasteland. Funding for major projects had been reduced or cancelled and it had become difficult to convince university administrators and government policy-makers of the importance of the topic. However, in their darkest hour, AI researchers were also learning from their mistakes. To begin with they realized the error in attempting to build a universal machine intelligence and in tackling problems that were too general in nature. Throughout the 1970s, AI researchers concentrated on well-defined problems and on applications in carefully structured situations.

The 1960s also saw the development of important technical approaches which were to be exploited to advantage in the 1970s. These new techniques can best be illustrated by analogy to humans solving problems. Faced with a difficult problem, a human does not necessarily proceed in a strictly logical fashion and examine every alternative with the same attention. A human makes guesses and uses rules of thumb; a problem may be simplified and broken into smaller parts, or the solution of a similar problem may suggest the strategy for a new approach. Humans also ignore certain details in favour of a "global" approach and attempt to juggle several things at the same time.

AI researchers realized that each problem requires its own particular strategy and can be tackled best with the aid of heuristics or rules of thumb. Computers were designed, therefore, that could do several things at once; in technical terms, carry out parallel processing and time sharing. Also, new programming languages were written that were better adapted to problem solving and AI work. When these insights and technical advances were combined with the more modest goals adopted by AI researchers, the field began a renaissance in the second half of the 1970s. This resurgence

was also assisted by advances in the theoretical understanding of problems specifically connected with AI. In linguistics, for example, Noam Chomsky's theory of deep linguistic structures had a considerable effect on machine translations, question-answering machines and the understanding of natural languages.

Even more important in implementing these new advances was the realization that AI systems must have general knowledge of the world. Much of our ability to deal with day-to-day situations comes from the vast store of information knowledge we each hold within us. We know that day follows night, stones fall, shadows move with the sun, vegetables grow in the ground and are purchased at stores. We know about people and society, about beliefs and actions, and about recreation and daily work. Without any of this background information, a general conversation, overheard between two people, would be virtually meaningless and few daily problems could be solved appropriately.

Today, AI workers recognize that computers must also be given such powerful bases of knowledge. Without a knowledge base, even the fastest and largest of machines is powerless to understand the context of a conversation or to solve the simplest practical problems. The programming of speech recognition, for example, relies on the computer's ability to match incoming sounds with the acoustic patterns of sentence fragments it has constructed. However, this matching implies that the computer has anticipated and generated successive fragments of speech. To do so a computer not only has to understand semantics and syntax but also the meaning of a particular sentence within the overall speech and this requires general knowledge concerning the topic of conversation.

In virtually every area of AI today, the computer relies on a knowledge base of facts about the world. This knowledge base has become a key to so many advances in AI that considerable research is being directed towards the best ways of storing and manipulating knowledge.

Advances over the last 5 years can also be traced to evolutions in the computer itself. As more and more computing power is placed on a silicon chip, the computer becomes faster, cheaper, more powerful and more compact. The result is that research groups of even modest size can now have access to considerable computing facilities. Also, problems that once lay outside the capacity of a computer memory or took too much time to solve are now feasible. This process of electronic evolution is still accelerating. As one participant observed:

> "I feel that in the next five years, the champion chess player will be a computer and not a human. This isn't because the computer is any more intelligent, it's just that one order of magnitude increase in speed equals several points in IQ. As the chess machine speeds up, it can work out all the moves and apply various algorithms."

"Intelligent" devices can now be produced in which the computing power is built-in rather than supplied from a distant bank of computers. By the late 1970s, companies had also started to work on the design and manufacture of computers specifically created for AI work and the first applications of AI devices were finding their way into the marketplace. Microprocessors are on sale today that play championship chess, backgammon and checkers. Industrial robots work in factories, machines are voice-operated and barcode readers are found in many supermarkets.

Thanks to advances in computer design and new understandings about AI, like knowledge bases, new programming languages, strategies and heuristics, the field has emerged from its wasteland. Today AI is a fast-moving field that, in certain countries, is being heavily funded. Although AI researchers are no longer willing to make the generalized optimistic predictions of the Dartmouth Conference, they can at least point to successful applications and promising areas of study.

II. TOPICS IN AI RESEARCH

AI is a particularly integrated field of study where research workers from many different disciplines pool their knowledge and experience to solve given problems. Although AI research today is divided into a number of specific areas, each particular advance has implications for the whole field and embodies principles from several different areas of AI.

For clarity of presentation, this paper is divided into different sections, each dealing with a particular field of AI. It must be borne in mind, however, that these divisions are to some extent arbitrary for the interests of various AI workers overlap and common problems occur in different fields.

TOPIC I: KNOWLEDGE AND THE COMPUTER

One of the most significant fields of AI research today is that of knowledge representation and bases. Knowledge bases are ordered collections of facts about the world that are used in fundamental work on expert systems, problem solving, computer vision, natural language understanding and speech recognition. The topic in itself also represents an important advance in how the computer's abilities are used. As one participant put it:

> "When the computer moves from processing numbers to actually dealing with knowledge itself, then it has made a tremendous evolutionary leap."

During the Ottawa Workshop, there were several talks and discussions on how knowledge can best be represented and manipulated by a computer. The participants also debated which programming languages are most appropriate for knowledge representation and how knowledge bases can be used in question-answering machines and expert systems.

Expert Systems

Expert systems represent the most visible success of AI today. They are of obvious practical importance to businesses and to professionals and a clear demonstration to non-experts, of how computers can solve problems in an intelligent fashion.

A definition of this important new area was given by one speaker:

"Expert systems are computer systems which attempt to duplicate or approach the performance of an expert in his field."

Expert systems are designed to capitalize on the knowledge of experts in certain fields. When such systems are provided with background information on a particular case or situation, they are able, for example, to make a medical diagnosis, predict a chemical structure or suggest the location of a mineral deposit.

Some of life's problems can be solved by the mechanical application of simple rules, for example, setting up a small balance sheet or tracing the fault in a simple machine. These problems can also be solved by a well-written computer program and are not the province of expert systems.

Dr. Douglas Skuce of the University of Ottawa explained that the ideal field for an expert system is one in which the problems involved are more subtle and cannot be directly solved with a limited number of rules. When doctors make a diagnosis, for example, they use rules of thumb, intuition and judgements based on partial information, and combine all this with a lifetime of accumulated knowledge and experience of similar cases. The expert system attempts to formalize this tacit knowledge in a way that can be used by the computer.

A perfect expert system not only gives accurate solutions to complex problems but explains how it arrived at its conclusions. It learns from experience, restructures new knowledge and detects internal inconsistencies in its knowledge base. The perfect system also realizes what is relevant to a problem and what can be neglected and, like any good expert, it is aware of its own limitations. Although commercially available expert systems incorporate several of these features, they all have limitations and none has yet reached the level of a true human expert.

During the late 1970s and early 1980s, a number of expert systems were designed and marketed, several of which are explained in Table I. The

systems PUFF, MYCIN and CADUCEUS have a high success rate when it comes to the diagnosis of a limited range of illnesses, DENDRAL and CHRYSALIS are able to interpret mass spectra and electron-density maps respectively, PROSPECTOR indicates the location of minerals and has already correctly predicted the location of a molybdenum deposit. Other expert systems are used in the design of electronic equipment to aid computer programmers and as mathematical assistants. Expert systems also form the basis of some computer-aided learning systems.

Table I - A Selection of Expert Systems

System	Function
PUFF	Diagnoses and recommends treatment of pulmonary dysfunction.
PROSPECTOR	Aids in the exploration of nine important minerals.
DENDRAL	Suggests organic molecular structures based on mass spectrograph data.
MYCIN	Diagnoses bacterial infections and recommends antibodies.
VM	Interprets clinical data on a patient's breathing.
AM	Discovers mathematical concepts.
EL	Analyses electronic circuits and determines voltages and currents.
GUIDON	Uses the MYCIN and PUFF expert systems as a basis for teaching medical diagnosis.
ABSTRIPS	Devises plans for a robot to move objects between rooms.
MOLGEN	Designs experiments in molecular genetics.
CHRYSALIS	Interprets the electron-density maps of protein molecules.

Some expert systems operate at a high level of knowledge and performance. These systems act as consultants for professionals such as doctors and engineers and, in effect, make the experience and knowledge of a world expert available in many different locations. Other expert systems operate at the level of assistants or apprentices and remove some of the burdens from human professionals.

Notwithstanding their successes, current expert systems are limited in their areas of expertise and, in some cases, do not offer satisfactory explanations as to how they reach a conclusion. Also, current expert systems have the irritating habit of "crashing" when they reach the boundaries of the field they are programmed to cover. Rather than indicating that they have reached their limits, these systems continue to offer solutions with confidence even when these solutions are absurd.

A major barrier to the development of new expert systems lies in the time taken to extract knowledge rules and heuristics from a human expert and the problems of incorporating these rules into a computer program. At present a knowledge engineer must work with the human expert for many months or years. During this period, the engineer attempts to learn the different strategies and approaches that the expert employs and converts these into an expert program.

Human experts are not always clear as to how they use their intuition and experience and the engineer may have to begin with general cases and develop new insights by presenting the expert with special cases, exceptions to the rule and instances where a rule must be broken. One possibility for removing this labour-intensive bottleneck is to have the expert system itself extract the knowledge. This can be done, for example, by generating a large number of cases and presenting them to the expert for consideration. (The field of knowledge representation, itself, is an active one.)

Expert systems of the future will have to handle far more rules and facts than present systems. They will be structured to deal with incomplete or imprecise knowledge, they will accommodate knowledge from several different sources and operate in more flexible ways. The research in these cases was discussed by John Mylopoulis, Zenon Pylyshyn and Douglas Skuce.*

There was general agreement at the workshop that the field of expert systems should be pursued in Canada. Some research work is already being done in this field which appears to be ideal for further exploitation. For example, development of the PROSPECTOR system involved Canadian expertise and information on Canadian resources, yet the actual system was designed in California. Its development costs were not large, $2 million. The Canadian AI community should be involved in the production of similar expert systems, in particular systems which would assist in the development and exploitation of natural resources.

Knowledge Representation and Logic Programming

Knowledge representation deals with the ways in which facts and information are structured and manipulated in the computer and how they can be used to make inferences and deductions. It is essential in the design of an expert system and other AI applications where general world knowledge is needed, and involves some of the conceptually most difficult and exciting issues in AI.

In the 1960s, research workers still had as their goals general purpose systems that would play games at a high level and solve complex problems, but such systems were rule based, an approach that was soon found to be limited. By the late 1970s, a different, knowledge base approach was attempted in which computers were given access to general facts about

---

* See p. 69.

particular domains. The success of such attempts depends, of course, on having a proper representation of knowledge within the computer.

Knowledge representation depends critically upon choosing a programming language that is sufficiently precise to make correct deductions yet, at the same time, is flexible enough to contain all the relationships that exist between a wide range of knowledge facts. Natural languages, for example, have considerable flexibility but lack precision. Mathematics and conventional programming languages have precision but are too narrow in their range. A new level of languages, therefore, had to be created for knowledge representations; these were based upon features from mathematics, natural and programming languages. John Mylopoulis of the University of Toronto explained that three basic approaches have been used in the development of such knowledge representation languages.

The first approach makes use of the rules of symbolic logic. For example, statements of the form:

"If X is a student, then X is a person,"

are used to structure the knowledge base. If the computer is later supplied with the particular fact that "John is X" it will be able to deduce that John is also a person. By stringing sets of logical relationships together ("If.... then...," "Either... or..." and so on), it becomes possible to make powerful inferences from a particular given set of facts. Deductions made with this approach are at present wide but are limited to those of traditional symbolic logic. To be of more practical use, the knowledge representation system must also deal with partial or incomplete knowledge, heuristics, beliefs, orders involving time, metaphors, actions, plausability and so on. Research projects are attempting to incorporate some of these more flexible features.

A second approach makes use of the relationships that exist between objects and facts. John of the previous example may not only be a student

but also the husband of Mary, the father of David, owner of a dog and a red car, taller than Henry and older than Paul. Indeed, a complex web of relationships interconnect John with other people and objects in the knowledge base. By laying down such relational networks, the knowledge base develops a particularly rich structure, far superior to that currently available in a logic-based representation. However, it is difficult to make new inferences using this relational approach.

A third attempt at representation is "process driven." The programming language makes use of the input of a fact to trigger a series of processes within the knowledge base. The fact "John is a student" may trigger off a process that results in the deduction "John is a person" or "John is the husband of Mary." Representations using processes are currently fashionable amongst the designers of expert systems but, as with relational networks, they are limited in their reasoning potential.

Dr. Myopoulis explained how contemporary research is being directed to a new generation of languages that use features from all three of these approaches. Randy Goebel, of the University of Waterloo, discussed PROLOG, one of these new, logic-based languages. PROLOG is proving particularly popular amongst the AI community and has been chosen by the Japanese for use in their fifth-generation computer. Doug Skuce, who had earlier talked about expert systems mentioned the LESK language that is designed for knowledge acquisition from an expert in a "user friendly" way.

There was some discussion at the meeting on the merits of various languages but one participant observed:

> "The problem with all these languages is that people act like apostles and push the language they believe in. The field's being spoiled by so many unjustified claims."

Another suggestion was to avoid a totally unified approach in a computer system and use one language for knowledge representation and another for control.

The concepts of "Frames" and "Scripts" were also mentioned in relation to knowledge representation. "Frames" were devised at MIT by Marvin Minski and involve stereotypes of knowledge or clusters of facts that can be manipulated as a block. "Scripts" were developed to cover common situations in which humans often find themselves involved. A well-known example of a Script concerns the type of action that a customer in a restaurant might experience. By means of this Script, the computer becomes aware of a range of human experience that includes goals, beliefs and plans besides hard factual knowledge.

Present systems of knowledge representation are limited to several hundred facts and the workshop participants agreed that a whole new range of applications will open up once these systems are able to handle thousands or tens of thousands of facts. The barrier to such an increase appears to lie with the knowledge representation language itself. Some speakers felt that a significant breakthrough in representation is needed before knowledge bases increase in size by an order of magnitude. However, to give an idea of the scale of the problem involved, Myopoulis pointed out that some of the issues of knowledge representation involve questions that have preoccupied philosophers for many generations without solution.

Question-Answering Systems

Computer buffs aside, most of us would prefer to talk to a computer in our own everyday language. A person who uses the computer as a tool in an office, home or factory is generally uninterested in the way in which the program is written or how the knowledge is structured. Such a person does not wish to learn a programming language or to spend several hours with a system manual. The ideal situation would be to ask the computer a direct question and receive an answer in everyday language. Based on this answer, the user might then choose to enter into a more detailed conversation with the computer and ask for further facts, explanations and predictions.

The goal of question-answering sytems is to produce a "user friendly" computer that will hold an intelligent and productive conversation with a human user. The conversation itself could be held using speech or typed questions and answers in ordinary language. Expert systems are particularly appropriate candidates for augmentation by a question-answering system. As one participant put it:

> "What we want is the sort of medical expert system where a worried mother can lift up the phone and explain her child's symptoms. The computer would tell her not to worry or suggest she brings the child in to see the doctor."

Ray Perrault pointed out that question-answering systems must have capabilities that lie far beyond the understanding of natural language - a difficult enough task in itself. Such systems would have to deal with the general flow of a conversation, they would have to understand its context, to refer back to earlier answers and to deal with ambiguous questions.

Current systems are stretched to the limit by even the most simple conversations. A question-answering system may, for example, be able to deal with:

> "What Canadian manufacturing company's profits were higher than average in 1980?"

But what will it make of the follow-up?

> "What do they make?"

Here the ambiguity of the word "they" can only be resolved if the computer remembers and understands the previous question and answer. The word "make" is even more difficult for it could refer to profits, income or products.

The first generation of such systems had their language-generating programs integrated with rules for the semantics and context of the conversation. They were fast and versatile, but were incapable of dealing with subtleties of language; also, any change to the data base involved modifying the whole system. A second generation of machines had data bases that were independent of syntax generation. This step allowed for a richer use of language and more acceptable replies but required very large computers and more computing time.

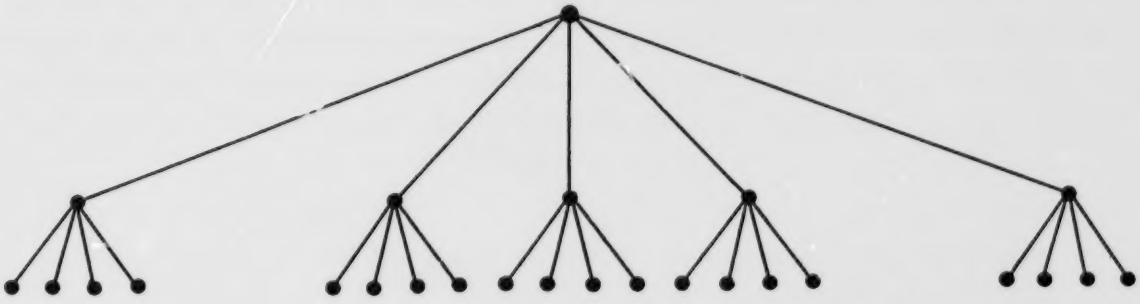
At present, commercial systems are unable to hold connected conversations where any subtlety or dependence on context is involved. However, some research systems that are able to make deductions during the conversation have greater versatility. If such systems are perfected they will have considerable commercial possibilities.

Dr. Perrault pointed out that, as with so much AI work, the key to the problem is to limit the system's domain of application. Within a well-defined domain, question-answering machines can be effective and useful, but a problem arises in discovering the best way to limit the domain of a question-answering system. For example, even with a very limited data base, an involved question still requires considerable computing power to produce a satisfactory reply. One useful line of research would be to discover guidelines about the most profitable ways to limit the domain of a question-answering system.

An Aside! Tree Graphs and Combinatorics

Although none of the speakers specifically addressed the topic of tree graphs or solution searches, the issue was implicit in much of the workshop discussion. Tree graphs and the various strategies that are employed to search through the branches of a solution tree are ever present problems in AI research. The concepts involved can be readily illustrated by reference to a game of chess.

Suppose Black is to move at a particular point in the game. Black considers the prudence of a given move and envisions the possible countermoves that White could make. Each of White's countermoves will in turn open up new possibilities to Black; some of them will strengthen Black's position and others lead to danger. Black therefore considers not only the immediate move but the possible responses to each of White's countermoves and so on. The implications of a single move can therefore be represented by branches on a tree:



It is clear that the further ahead Black plans the game, the larger and larger become the number of possible moves about which Black has to think. If Black plans far enough ahead, then the number of moves involved become astronomically large. Within all of these possibilities, Black hopes to trace down a branch to a possible checkmate of White. Black also bears in mind the possible sub-branches which, if taken by White, may cause Black to lose the initiative. The state of the game can therefore be considered by scanning the implications of each node, by searching the branches both laterally and in depth. Finally, a particular strategy which involves zigzagging down a branch from node to node will be chosen.

Many problems in AI are analogous to the chess game for each particular move or action gives rise to a range of possibilities that fan out like twigs on a branch. In some AI situations, the process is performed in reverse. Diagnosis of a disease for example starts with the twigs

(symptoms) and back-tracks to a particular disease (one branch). However, whichever way the tree graph is read, AI researchers always come up against the "combinatorial explosion", which is so-called because as the computer moves from level to level within a tree graph, the number of possibilities that must be considered increases dramatically.

Tree graphs crop up in AI applications including vision, speech recognition and problem solving. In all cases the computer reaches its limit when it no longer has the time or the memory capacity to search through so many branches. Some idea of the magnitude of the task can be gained by referring back to the chess game. If the fastest computer available were to calculate all possible configurations in a 50-move chess game, it would take it longer than the age of the universe!

Human chess players do not get caught in the combinatorial explosion; yet are still able to play long games of chess and solve complex problems. This is because humans have the advantage of drawing on experience, anticipating certain overall patterns, adapting strategies for given situations and so on. In chess, a human player may learn to concentrate on the centre of the board, recognize an opponent's overall strategy and condense a particular series of moves using mental shorthand.

AI researchers are similarly learning how to beat the combinatorial explosion by means of heuristics, generating and testing tentative solutions, breaking down a problem into sub-problems and searching both from the top and bottom of a tree. Also, new approaches to programming favour parallel processing in which several branches are searched simultaneously.

The difficulties of searching amongst the branches of a tree graph is one of the major computational barriers in many fields of AI. Researchers now recognize that a breakthrough in AI will come about once the computer has self-knowledge about the task and can perform a tree search in an intelligent fashion.

Conclusions

It was clear from the discussion that expert systems and knowledge representation is a particularly active and promising field. Several expert systems have already been marketed and are generating considerable interest within the business world. It is clear that as new systems are developed, they will have a readymade sales interest.

Several of the participants argued that the design of expert systems was a particularly promising field for Canada, especially in the field of resource management. The development of a new system does not require a large AI team or a major outlay of capital. The knowledge and experience to design and produce such systems is available in Canada, and such a product would have a promising worldwide market.

TOPIC II: NATURAL LANGUAGE AND MACHINE TRANSLATION

Computer understanding of natural language is of considerable importance in AI applications. Question-answering systems depend upon the ability to understand and generate sentences in natural language. Speech synthesis and recognition rely similarly on the ability of computers to manipulate and understand natural language. Also, an application of particular relevance to Canada is that of machine translation.

Language translation is an expensive, labour-intensive activity and, in a bilingual country like Canada, it represents a significant cost that has to be added to the overhead of many projects. The possibility of automated machine translation is, therefore, of national importance.

Early attempts at computer translations were crude and had a tendency to produce absurdities. A much-quoted example involved the translation of the English sentence "The spirit is willing, but the flesh is weak" into Russian and back into English. The translation produced by the computer read "The wine is agreeable but the meat is spoiled." There are a number of outstanding problems involved in language translation and this example illustrates one of the most serious, namely, the problem of meaning. Words carry many levels of meaning, as for example the word "flesh". The Oxford English Dictionary contains two pages of definitions for this word which involve subtle shades of meaning in regard to its common usage as a noun and such curious usages for the verb as, "to reward a hawk or hound" and "to plunge a weapon into the flesh." Some of these meanings are made clear by the sentence in which the word occurs, others require a knowledge of the

general context of the passage or even information that lies outside the text itself, for example, general knowledge about the world and the way people act. Such considerations become of supreme importance where computer translations are concerned.

Pierre Isabelle and Laurent Bourbeau described the approach of the TAUM group in Montréal and the various attempts that had been made to improve machine translation. The field had been influenced during the 1970s by the theories of Noam Chomsky who proposed the existence of "deep linguistic structures" located in the brain. According to Chomsky, language arises from language-independent processing that is genetically inherited by all humans. The particular language that is learned in childhood is coupled to this deep linguistic structure so that not only speech but also reading and writing become possible.

Chomsky's theories suggested to the AI community that a language independent structure or "interlingua" could be used as the basis for computer translations. Sentences in one language would be transformed into symbolic forms of "interlingua" and then transformed into the target language. In practice, however, such a translation program proved particularly difficult to carry out so TAUM took a modified route.

The Montréal-based TAUM project was formed in 1965 from a group of linguists, translators and computer scientists to develop a practical computer system for English to French translation. TAUM decided on an approach using "pivot languages"; a modified form of deep linguistic structure. Each English sentence is first analyzed for syntax, semantics and word meanings and then translated into "pivot English." This intermediate step has the effect of exposing the full linguistic structure of the English sentence. Using an internal dictionary and rules for transformation, the sentence in pivot English is then converted into pivot French. Finally, the TAUM program translates the sentence from pivot French into the French language.

The TAUM program is not sufficiently general to make translations of books and newspapers so the group decided to apply it to what are called "sub-languages"; that is, situations, such as technical manuals or command languages, in which syntaxes are restricted and vocabularies are limited. One of the first applications of the TAUM program to such a sub-language was the translation of weather reports. TAUM-METRO has translated some 2.5 million words each year with only 20 per cent of the sentences requiring revision. This success was followed with TAUM-AVIATION for the translation of maintenance manuals.

An advantage of the TAUM system is the independence of its software from internal grammars and dictionaries. It is, therefore, possible to apply TAUM to different technical sub-languages or, indeed, to languages other than French and English without the need to revise the whole system.

The cost of a TAUM machine translation was $0.083 per word as compared with a human translation of $0.145 per word. However, because all texts were subject to human revision, this raised the cost of a TAUM-produced and translator-supervised text to $0.183 per word. On the basis of these figures, the TAUM attempt did not appear to be commercially competitive. TAUM's contract to perform machine translations was terminated by the Department of the Secretary of State and the research group disbanded in September 1981.

The failure of the TAUM translation team to survive was regretted by many present at the workshop. However, an announcement was made by a member of the Secretary of State's Department that a study would be funded to look into the feasibility of computer translations.

James Mackie from MITEL pointed out how useful computer translations could be when they are used with restricted sub-languages. MITEL was making use of a commercially available system to translate its telecommunications documentation into a variety of languages. The original text is written in clear, simple English using a restricted syntax and vocabulary.

By keeping the limits of the computer's translation program in mind when the original text is written, the machine is able to produce acceptable translations at an economical cost.

TOPIC III: VISION AND SPEECH

The fields of expert systems, knowledge representation and the understanding of natural language belong, loosely speaking, to the "intellectual" side of the computer. The electronic machine must also be given senses and the ability to gather information about its environment and to use this information to take action. As one participant said:

> "So much of this workshop is about thinking, yet a lot of the actual work in AI today is about getting information from the world and then altering it."

The earliest computers interacted with the outside world by means of punched cards, punched and magnetic tape, discs, drums and typed input and output. Today, computers have the rudiments of vision, understand simple speech, sense the position of surrounding objects by means of robot limbs and interact with humans via sensitive screens and tablets. The two major areas of computer vision and speech were discussed at the workshop.

Computer Vision

So much of what we know about the world is gathered by our eyes that it is natural for AI researchers to attempt to give vision to their computers. It is a task, however, that proves to be one of the most difficult in the whole AI field.

Some of the earliest experiments in computer vision were carried out at the SRI Laboratories in California between 1969 and 1971. Using television

cameras as eyes, SHAKEY I and II were able to find their way through a series of interconnected, block-filled rooms.

As scientists attempted to extend the abilities of computer vision, problems emerged that were of surprising complexity. Our own vision works so well that we are never conscious of the complicated processes involved. We scan a landscape and, faster than thought, spot the sudden movement of a rabbit. We walk through a jostling crowd and recognize the face of a friend last seen a decade ago. We run downstairs and notice a mark on the wall that was not there the day before. As one participant put it:

> "Our visual system is truly astounding but it is also the result of a billion years of selective evolution. A billion years which has produced eyes, optic nerves and a visual cortex specifically designed to perform tasks geared to survival."

There does not exist even a tentative general theory of vision, and set beside the visual system of a human, SHAKEY and the vision systems that came after it are particularly crude. Contemporary research has moved away from computer vision towards more restricted problems and to vision systems that work in limited, structured environments. Research topics include image processing, picture restoration, scene analysis and a host of other specialized sub-divisions.

One of the most notable successes of computer vision is in areas where human seeing has no special ability; that is, the fields of image enhancement, picture correction and reconstruction, image compression and tomography. Here the computer's "eye" makes no attempt to read or understand a photograph but treats it as digital information that is to be processed. Computers can remove defects in a photograph, correct colour values and generally improve a two-dimensional image.

Picture processing is now a matter of routine with images taken from planetary probes, earth resource satellites and medical apparatus; it is even used in commercial video production for special effects. Computer

tomography is applied in medical diagnosis to obtain three-dimensional information of the body from a series of flat-slice images. Image compression permits the storage of a larger number of visual images in a computer memory or the transmission of images with a reduced flow of data.

Computer systems can also be used for pattern recognition where a limited number of simple shapes are displayed against a uniform background. Applications include the reading of barcodes on merchandise, counting particles, inspecting electronic circuits and scanning blood cells. The computer has the advantage of being fast, efficient and tireless. Its vision can also be used to measure the dimensions of simple changes directly and accurately, an ability not shared by the human eye.

Whereas the computer may be able to improve the image of a blurred photograph, it is generally beyond its abilities to pick out and identify even the most general solid objects that are represented on that two-dimensional surface. It is only in restricted situations, such as photographs of the earth's surface taken from a given height, that computer vision has, at present, any chance of making a commercial contribution.

Humans know how to read photographs because they possess general knowledge about how things appear in the real three-dimensional world. Humans are able to decode the flat image because they understand clues as to scale and distance, they know how shadows form, they associate certain textures with grass, water and rock, they recognize a given object from many angles and they know how solid objects are mapped onto a two-dimensional surface by the camera.

The computer can only begin to decypher a photograph when it too is supplied with additional information about the scene. One way of doing this is to use the computer vision system as an assistant to a human expert. T. Kasvand of the National Research Council and A.G. Fabbri of the Geological Survey of Canada developed GIAPP to place image-processing

skills at the disposal of geologists who wish to pick out and compare details from a series of maps.

Professor Mackworth from the University of British Columbia described his own group's work on the interpretation of satellite pictures. The computer is able to "read" the image only after being supplied with information on illumination, ground cover and surface orientation. Another experimental program, MAPEEZE, is able to reconstruct the scene represented by an aerial photograph. A human operator provides the computer with a rough sketch map of roads, bridges, rivers and mountains in the area. MAPEEZE then uses that information to produce a full colour map based on the photograph.

When it comes to general vision of full three-dimensional scenes, the computer is even more limited. One AI goal is an industrial robot whose eyes can be used for inspection, general control and the direction of manipulating arms. Such robots are, at present, only effective in highly structured environments involving a limited number of different objects. However, by carefully arranging a scene, the robot can be used to advantage. In an ideal vision situation, a limited number of well-defined objects are carefully arranged and illuminated. The simple expedient of painting a target on an object will markedly increase a robot's vision ability. One participant defended the robots' limited vision:

> "You've got to remember that the workplace has evolved for the convenience of humans and not robots. What may seem congenial to us is confusing and complicated to a robot. They're going to work best in the sort of standardized surroundings that humans find boring, mechanical and repetitive."

Mackworth felt that Canadian research into computer vision is of high quality but, without additional support, it will rapidly fall behind the rest of the world. One possibility for the future is the transfer of high-quality visual systems onto silicon chips. In this way, new vision systems will be fast in operation and cheap to produce.

Whereas other applications of AI, such as machine translation, may have to compete on the grounds of cost effectiveness with humans, this is not necessarily true with computer vision. A particularly attractive area for development is vision for robots to be used in outer space, ocean beds, atomic reactors, chemical works and other environments that are hostile to humans.

Speech Recognition and Synthesis

It is advantageous to interrogate computers using ordinary speech, for computers that can engage in verbal conversations with their users will have a host of applications from improved question-answering systems to aids to the handicapped and machines directed by verbal commands. However, as with other fields of AI, the full development of computer speech also depends on having electronic representations of general knowledge about the world.

Dr. M.L. Blostein explained the work of the Bell Northern Research - INRS Speech Communication Research Group and began by playing an example of computer-generated speech. True synthetic speech involves the translation of a text into acoustic signals. At present synthetic speech is intelligible although, in the case of microprocessor systems, considerable improvement is still needed particularly where long sentences are involved. An alternative approach is to construct speech out of pre-recorded, electronically compressed segments but this requires the capacity of a whole IC chip (integrated circuit chip).

To produce good synthetic speech, the computer must be able to analyze each sentence and apply rules of inflection, punctuation and intonation as well as the characteristics of an individual speaker. A major difficulty in the development of computer speech is the lack of full understanding of how human speech is produced.

When it comes to automatic speech recognition, the problem is even more complex. At present a single IC chip has the capacity to recognize a small

vocabulary of isolated words spoken by a trained speaker. To extend this to carefully spoken, connected speech requires a series of circuit boards and even with this computing power, the vocabulary and syntax must be highly restricted. Full conversational speech with untrained speakers is at present beyond the capacity of a computer. It is difficult to give a time frame for this latter development. Some laboratory systems work well as experimental devices but as soon as they are put into the field, they look less attractive. As a participant said:

> "It's not that easy to speak to one of these machines. We don't really know how to get people to 'live' with a limited vocabulary and syntax. Possibly command languages will be the most profitable area to explore."

Speech-recognition systems work by matching the incoming sound against acoustic patterns generated in the computer, and, if the two patterns happen to match then the word or phrase is recognized. This process requires the computer to constantly anticipate what is being said, given the overall context and earlier parts of the conversation. Hence, the computer is constantly making sentence hypotheses based on the rules of natural language and some general knowledge about the subject under discussion.

Improvements in speech recognition involve knowledge representation, strategies for constructing more effective hypotheses, searching amongst hypotheses, pattern matching and so on. Also, more work must be directed to understanding how human speech is produced.

Dr. de Mori of Concordia University spoke of his own research into the computer recognition of continuous speech. His approach employs an integrated system to extract acoustic clues and generate syllabic and lexical hypotheses. It operates by processing the various sub-tasks in parallel.

Dr. Blostein argued that significant research in this field could only be carried out by an organization with considerable computing power at its disposal. He suggested that successful systems should be transferred immediately to silicon chips. Cheaply produced speech-recognition systems

could then be used by smaller research groups and for field trials in homes and offices. The results of these trials and laboratory assessments would lead to further improvements in design.

A good speech-recognition system probably lies 5 to 10 years into the future. For the present, however, commercial systems have a use in well-defined situations and with limited vocabularies and syntax. One obvious field of application is "command languages" where machines are controlled by a series of limited voice commands. Although the voice-operated typewriter lies far in the future, research could be carried out now on how people will react when they find that they can hold conversations with a machine.

TOPIC IV: APPLICATIONS AND EFFECTS

The Office of the Future

Much has been written about the office of the future and how the new technologies will transform the functions within an office. Up to now, the major transformation has resulted from word processors and, in the near future, their influence will be even further extended as they are given the capability to make decisions, produce graphs and other documents and are integrated with electronic mail services.

Tom Carey of the University of Guelph pointed out that the research and development is badly needed in the field of user-system interactions. Office equipment of the future will make use of natural language, speech recognition and multi-mode interfaces. (In multi-mode interfaces several "clues" are given by the user, for example, gestures can be picked up by means of a gyroscope attached to the arm.)

The general user of office equipment prefers to learn to use a new system in ways that are as painless as possible. In place of complicated instructions and bulky manuals, the system itself should guide the user through its various functions at an individually designed pace. Instead of error messages, an electronic device could offer help and instruction. Executives who find themselves lost or confused when faced with a computer are unlikely to be impressed by a bluntly worded error message.

At present, it is not at all clear how this new technology will change the office. For example, when word processors were first marketed, it was

assumed that their major function would be to act as time-saving devices. In fact, they do not so much save time as allow writers to produce a much better first draft. One function of the new machines may be to make the skills of an expert more readily available throughout an office, but, at present, no one is at all clear if the new technology will reduce the number of office jobs or create more.

Part of the problem arises because the functioning of the office is not well understood. On paper, for example, an organization may function through hierarchical lines of command but there will also exist a more subtle, informal structure within that same organization. This informal system can be seen during a coffee break. The way in which new office machines interact not only with the formal office structure, but with this informal sub-structure, will be of particular importance.

Long-Range Planning and Decision Making

Computers have traditionally been used by scientists to solve problems that can be rigorously formulated. However, once the element of AI is added, the computer becomes capable of more subtle tasks such as decision making, value judgements and planning for the future.

In arriving at a policy decision, a human expert takes into consideration the potential behaviour of the physical world (resources, economics, environment, etc.) together with the various goals and values that society supports. This process demands, to begin with, an understanding of the complex interactions that exist between, for example, the marketplace, global economics, farming, mining, manufacturing and employment. Also, policy-makers are sensitive to the values society sets upon certain ways of life. They must, therefore, take into account beliefs and goals together with the possible implications of the particular decision that is to be made. Thus, if all or part of this task were to be carried out by computer, it would be of immense importance.

George Strobel of the Université de Montréal discussed the ways in which intelligent computers can assist in decision making and long-range planning. One approach is to use the computer as an experimental tool for investigating the consequence of a particular policy decision. Economists and systems theorists have constructed dynamic models that represent the evolution of complex interrelated systems such as the environment and the economy. These mathematical models consist of sets of coupled differential equations together with initial conditions, adjustable parameters and so on.

By programming dynamical models on the computer, a human expert can experiment with the effects and long-range implications of different scenarios, policy decisions and world trends. The computer in this case acts as a tool to decision making, whereby a number of alternative policies can be explored through a process of trial and error. The assessment of the results, in terms of values to society or detriment to the environment, is still, however, taken by human experts.

A more advanced form of computer planning not only models the economy and the environment, but the processes of decision making itself. In the GRIPS system at the Université de Montréal, the computer is supplied with information on the relative importance of needs, values and goals together with various indicators such as pollution, life expectancy, existence of war, etc. By combining these with a model of the environment and the economy, the results of a particular scenario can be evaluated by the computer.

The GRIPS system offers a complete modelling of human decision making where complex issues are involved. The computer works out the environmental and economic implications of a particular policy, searches within this scenario for the various indicators of quality of life and produces an overall evaluation of the result. The GRIPS system also features "automatic programming," it accommodates "fuzzy" input and supplies the results of its analysis and planning in terms of graphs and tables.

There was little time available at the workshop to discuss the far-reaching implications of systems like GRIPS, but the possibility of evaluating policies, making decisions and carrying out long-range planning by computer should be of importance to industry and governments.

HARDWARE AND THEORY

Computer Hardware

Much of the discussion at the workshop focussed on the practical tasks that AI systems are called upon to perform and on the software that should be developed. Professor T. Pietrzykowski of Acadia University provided a welcome contrast by addressing the problems of computer design and manufacture. AI systems today are required to carry out pattern matching, extensive tree graph searches, specialized numerical calculations and memory operations as well as parallel processing. Yet the computers available are still manufactured according to a philosophy used in their ancestors of the 1940s and 1950s.

Von Neuman's original design called for a centralized control and data flow but this is particularly inappropriate for the type of computer used in AI work. Today, there is good reason why computer design, or architecture, should change radically. For example, the central processor once represented the major cost of a computer but in some current machines, it is about one-tenth the cost of a memory unit. Novel designs could use tens or hundreds of processors to direct and control the flow of data through various parts of the machine. Areas of the computer could be dedicated to special operations or hard-wired for vision and speech analysis, intelligent memories could direct the flow of data and special modules would provide a well-designed interface with the user.

Such radical changes in computer architecture are not beyond the capabilities of the Canadian AI community. Pietrzykowski did not believe that the research and development involved would require massive grants or large teams and could be handled by relatively small groups. Rather than

attempting to build a general purpose fifth-generation machine, such a group could concentrate on producing an intelligent computer for a specific task. AI computers could be designed for robotics, vision, speech recognition, data base fronts or expert systems.

A computer manufacturer at the workshop agreed that the design and manufacture of such a machine was well within the capabilities of the Canadian AI fraternity. Such a development would allow Canada to leapfrog over conventional computer technology and secure a position amongst the next generation of computer manufacturers.

Role of Theory

As a complement to Dr. Pietrzykowski's talk on hardware, Ray Reiter of the University of British Columbia spoke on the role of theory in AI work. AI theory has recently experienced a renaissance in the fields of logic programming, expert systems, metatheory, new forms of reasoning and "smart data bases." In the area of "metatheory," contemporary research is being directed towards "knowledge about knowledge" or intelligent control over the computer's internal processes. This also involves the ability to deal with incomplete knowledge and belief systems. Considerable theoretical work is also involved in the development of logic-based languages for dealing with knowledge about the world and for making inferences from this knowledge.

Dr. Reiter pointed out that these theoretical studies relate to profound philosophical problems that had exercised thinkers for the last 2000 years. He had no reason to be confident that such questions as the "meaning of meaning" or "belief," would be resolved in the immediate future. Indeed, the word of John McCarthy, one of the founders of AI, are worth recalling:

> "One can expect true artificial intelligence 'somewhere between four and four hundred years' in the future."

GENERAL SUMMARY

It became clear from the talks and discussions held in Ottawa that Canadian researchers are represented in every important field of AI. (There were no specific discussions on robotics but the National Research Council is building an active group to study robotics and the applications of AI to manufacturing technology. Companies like SPAR Aerospace, with CANADARM, are also developing the required mechanical skills.)

Although Canada has not developed an expert system of its own, the community has all the necessary expertise to design and produce a commercially attractive system. Machine translation is another field where skills, a ready market and national priorities coincide. Considerable advances have also been made in the areas of long-range planning and decision making using AI computers. The field may now be at a stage where it could be of definite practical use to policy-makers and planners.

The technically difficult areas of computer vision and speech recognition are also well represented in Canada. Although the final solutions to many of the problems involved lie in the unpredictable future, there are many important applications to be made along the way. Already aspects of computer vision and picture processing are being used in science, medicine and industry and year by year, more applications are expected.

In theoretical AI, Canadians continue to work on some of the most fundamental problems. The depth of the issues involved transcends a single

discipline such as AI and embraces fundamental questions in philosophy. These problems may, by their very nature, lie beyond solution even though the human race is involved in rephrasing and clarifying them from century to century. This process is a valuable part of the world's intellectual heritage, and it may also have the side effect of stimulating work in more practical fields.

Some consideration was also given to the problems of computer design and hardware manufacture. Canada is rapidly developing skills and experience in the microelectronics industry and there are good arguments to support a national initiative in the production of AI computers. There is plenty of room for competition and innovation in this area and Canada's best strategy may be to design intelligent electronic devices for specific fields of application.

III. A POLICY FOR AI

THE ISSUES

What role should governments play in AI research?
Should Canada build a special centre for AI work?
What are the national priorities for AI research and development?
How soon will AI applications reach the marketplace?

Questions like these were debated at special sessions, question periods and coffee breaks during the two-day workshop. Whereas participants were in general agreement that AI is an important and promising field, they were less clear as to which policies and strategies would foster this work in Canada. High-quality work is at present being carried out by a number of smallish groups but unless a rapid increase in funding and support takes place, Canada will soon trail behind Japan, Europe and the United States in development and applications.

Research Funding

During the first day of the workshop, a senior government representative led a discussion on the possible roles that government could have with respect to AI research. He pointed out that one of the most important stimuli for research in Canada is the Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) grant scheme. These grants are designed to support long-term research and personnel development and could have a considerable effect on AI work.

Where applications are of ultimate benefit to society, governments can also fund research through strategic grants. Some government departments

can participate in a more direct form of support when applications coincide with a particular mandate. For example, the Department of Energy, Mines and Resources supports remote sensing for natural resources. The National Research Council maintains an interest in robotics and computer vision for industrial applications, the Department of the Secretary of State encourages machine translations, and the Department of Communications has a tradition of development in communications technology and office equipment. In all these cases, a government department may fund research teams or engage directly in research and development.

The Workshop was asked to consider to what extent should government take the lead in Canadian AI. Should it give direction through active policies and research, or should it act as a coordinator and help to foster communication between interested groups? In the lively discussion that followed, research workers from the universities made it clear that they felt, themselves, poorly served by NSERC. They pointed out that if AI is to flourish in Canada, then some improvement in funding is needed rapidly.

Several suggestions were offered as to why NSERC support is so low. To begin with AI is a new and poorly defined topic that embraces research workers in computing, engineering, mathematics, physics, psychology and linguistics. Often a grant application will "fall between two stools" or be considered by a committee that is unsympathetic to the field. Also, it appears that no active AI researcher sits on an NSERC committee, and no committee is particularly disposed towards the field of AI.

A further difficulty is that AI research normally involves a team effort and NSERC may not look favourably on research teams. Also NSERC grants are designed for long-term research and some authorities question if most AI profits are of a long-term duration. The workshop argued strongly that NSERC should develop more understanding of the nature, significance and future of AI research. Workers in the field should lobby NSERC members, representatives of the AI community should sit on NSERC committees

and possibly a special NSERC committee should devote its attention to the field and declare AI a high-priority topic.

Government: Leader or Adviser?

A senior government representative asked whether the federal government should take a strong lead in AI research or act as adviser and coordinator. Many participants felt that the government's role should be an active one in stimulating R&D. They pointed to the $48 million that will be spent between 1982 and 1984 on the Japanese Fifth Generation Project (a national program in Japan involving the design and production of an AI computer), and a $120 and $200 million budget is projected for 1985-1988. The response of the United Kingdom to this announcement had been rapid and resulted in the establishment of the British Program for Advanced Information Technology with a budget in excess of $600 million over the next 5 years. The United States for its part continues to maintain several major industrial and university AI research laboratories. By contrast, the Canadian government appears to have done next to nothing.

Many of the participants argued with the utmost vigour that the Canadian government must be made aware of the importance of funding AI research before it is too late. One suggestion was that the Science Council should act as an advocate for the AI community and, in particular, should make an analysis of the economic benefits of AI and its future applications.

Another speaker pointed out that the Canadian government is lagging behind the general public in its understanding of these issues. He felt that through exposure to the various media, the public had become well aware of the importance of AI and the radical changes that were taking place in Japan and other countries. The public also realizes that Canada is failing to participate in this challenge.

There was general agreement that the AI community should lobby government at all levels to publicize its message. An important factor in

raising the nation's consciousness about AI will be the Canadian Society for the Computational Study of Intelligence.

Leadership: Tomorrow is Too Late

The Workshop participants, therefore, felt strongly that the government should move rapidly to demonstrate its support of AI and not wait until proven applications or breakthroughs emerge. One speaker pointed to the way in which a new technology can dominate the marketplace and gave the example of how Japanese manufacturers have captured 98 per cent of the video recorder market. This did not come about through any dramatic leap in technology or fundamental Japanese advance. Rather video recorders evolved through a gradual process of improvement. Many other industrial nations had the capabilities and know-how to make such advances but, in the case of Japan, the project was vigorously supported from its inception. The consequence of the Japanese confidence in the future of its product was that a totally new market was captured and held.

The same dynamics may apply to the various areas of AI. Rather than involving a single dramatic breakthrough, the field will probably advance through a series of applications and improvements each of which represents a modest but definite advance. If Canada is to have a role in this process and a slice of an enormous potential market, then the government must demonstrate a strong and long-term commitment to R&D. If this support does not come about quickly, then Canadian companies and research workers will lose their positions in the field and will rapidly fall behind the other technological nations.

An AI Research Centre

If the government does decide to give financial support to the AI community, how best should this funding be used? One solution is to create an AI Centre. Canada cannot boast any major AI laboratories that are privately funded. Most of the expertise is concentrated in university departments, in small groups that tend to be underbudgeted and overwhelmed with the need to train graduate students. Although the research carried out in these

groups is often of high quality, the groups themselves are spread too thinly across the country. What is needed is to bring research workers together into large groups where a "critical mass" can be created for stimulating, rapidly advancing R&D.

One possibility for larger research teams is to have a special NSERC committee fund two or three main research centres. Another scenario is to create a distributed laboratory in which smaller groups can share resources and ideas. AI researchers need access to state-of-the-art computing facilities. At present, this involves a capital investment of between $50 and $150 thousand per researcher. A major research centre, or distribution centre, would provide such computing power and the infrastructure and funding for long-term software development.

Not everyone agreed that the poverty of university research is the major problem. Some felt that the industrial sector is in most need of government support and suggested that an AI centre for industrial applications should be built.*

A further implication of the present inadequate funding is that it leaves talented graduate students with little option other than to move to foreign (generally US) laboratories. This is not only a matter of job vacancies but of the presence of stimulating and active groups where promising young minds can feel challenged. The creation of special AI research centres in Canada would have the effect of protecting home-grown talent and attracting some of the best research workers on the international market.

If such an AI research centre is built in Canada, there are good arguments that applied research should occupy a strong position within its organization. Historically it has been found that the best advances and

---

* See p. 65.

the most stimulating environment exists when an active applied group interacts under the same roof with basic research.

Several speakers made the point that such research centres function best when they maintain strong links with the universities. Possibly university research workers could arrange joint appointments at the proposed centre and funding could be provided for "partial release" of AI researchers. The majority of AI work is performed in departments of computing science where the staff are seriously overworked. By providing partial release, selected faculty would be freed from teaching and administration to spend more time on research or to take a joint appointment at an AI centre.

AI and Technology Transfer

On the second day of the workshop, an active debate was held on the problem of technology and applied research. Several speakers from the industrial sector pointed out that the government had provisions to fund both university research and product development but that there is no funding for applied research outside a university setting. Several industrialists warned that the position of applied research within the whole field of AI is particularly weak. Applied research would be strengthened not only by an influx of funding but also by establishing more efficient communication between all sectors of the AI community.

A major problem involves technology transfer. Not every exciting breakthrough at the laboratory bench reaches the level of product development. The TAUM group, which was disbanded through lack of support, is an example of how a valuable new technology may become lost forever.

Experience shows that it is not sufficient for a new process or device to be commercially attractive, provision for technology transfer must also be built into a project right from the start. Too many university researchers do not think about this transfer until it is too late. On the other hand, research from the laboratory bench often appears abstract to people

in business, and there may be problems in convincing an industrialist of the significance of an advance.

There was a general plea that AI groups in the university should develop a greater degree of sophistication about the business world and plan carefully for the implications and applications of work they are doing.

There were several proposals as to how the link between the left brain (product development) and the right brain (basic research) of AI could be strengthened. One suggestion was to set up a centre to concentrate on applied research for the industrial sector.

Applied research is an expensive investment which most firms in the high technology field cannot afford. Where research is carried out and a new topic is investigated, each firm generally finds itself retracing the same steps before it reaches a frontier in technology. This duplication of effort is a costly and wasteful business but companies for their part like to keep research results to themselves. Companies with their own laboratories do not like to be involved with other groups but prefer their projects to be secret.

An applied research centre may be one way around this problem of high investment costs and the duplication of results. It would be jointly funded by government and industry with close connections to the universities. Research on common problems in AI development would be available to Canadian industry as a whole. Also, there would be provision for individually funded research, contracted by a particular company, and conducted under secure and secret conditions.

Regardless of how the research organization is set up, there was a general feeling that it should not be completely under government control and should foster traffic between basic research and product development.

Some concern was expressed that by concentrating so much applied research in a single location, the necessary spirit of competition would be lacking. On the other hand, there is plenty of competition from Japan, Europe and the United States. Participants also discussed individual rewards for AI research and several industrialists felt that a successful research worker should have a tangible share in any advance.

POLICY RECOMMENDATIONS

The policy recommendations that emerged from the two-day Ottawa workshop are:

1) The government should become aware of the nature and future of AI research, including economic benefits and future applications. It should also realize the need for immediate response to this rapidly moving field.

2) The government should give firm and long-term leadership to the whole AI community.

3) Special fields should be identified that correspond to national needs, international markets, current AI expertise and an already existing industrial infrastructure. Expert systems for resource development, language translation and AI related to robotics are examples of such fields.

4) An NSERC committee should be set up to fund AI research in the universities as a special priority area.

5) One or more research institutes should be established to develop teams with the necessary critical mass for rapid innovation and development. These centres would provide smaller groups with access to facilities and superior computers.

6) Special attention should be given to applied research and the transfer of technology. An applied research institute, jointly funded by government and industry, should be established.

7) The design and manufacture of AI computers and devices for specific applications should be undertaken in Canada.

8) The Canadian AI community should establish an electronic information network among its members. Also, the Science Council, NRC or some other organization should sponsor workshops to increase communication between all sectors of AI research, development and commercialization in Canada.

AGENDA

A WORKSHOP ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

sponsored by

The Science Council of Canada
100 Metcalfe Street, Ottawa

20 January

9:00 - 9:30	Welcoming Address Dr. Stuart Smith, Chairman Science Council of Canada
9:30 - 9:45	**Introduction** Mr. Jorge Miedzinski, Chairman of Meeting and Deputy Executive Director Science Council of Canada
9:45 - 10:15	**Artificial Intelligence: A Perspective** Professor Zenon Pylyshyn, Director Centre for Cognitive Studies University of Western Ontario
10:15 - 10:45	Coffee
10:45 - 11:15	**Knowledge Representation** Professor John Mylopoulis Department of Computer Science University of Toronto
11:15 - 11:45	**Progress in Automatic Translation and Natural Language Processing** Pierre Isabelle and Laurent Bourbeau (TAUM)

11:45 - 12:15	**Logic Programming** Professor Randy Goebel Department of Computer Science University of Waterloo
12:30 - 13:30	Lunch
13:30 - 14:00	**Computer Vision** Professor Allan Mackworth Department of Computer Science University of British Columbia
14:00 - 14:30	**Question-Answering Systems** Professor Ray Perrault Department of Computer Science University of Toronto
14:30 - 15:00	**Expert Systems** Professor Douglas Skuce Department of Computer Science University of Ottawa
15:00 - 15:30	Coffee
15:30 - 16:15	**The Role of Government and Government Laboratories in Artificial Intelligence** Keith Glegg, V.P. Industry National Research Council
16:15 - 17:30	**Discussion: Directions for AI Research in Canada. What should be done and how to do it?**

21 January

9:00 - 9:30	**Speech Recognition and Synthesis at Bell Northern Research Laboratories, Montréal** Dr. Maier Blostein
10:00 - 10:30	**AI Applied to Long-Range Planning and Decision Making** Professeur George Strobel Département de psychologie Université de Montréal
10:30 - 10:45	Coffee
10:45 - 11:15	**AI and Office Automation** Professor Tom Carey Department of Computer Science University of Guelph

11:15 - 12:30	**Discussion. Applications. How soon? How Good?**
12:30 - 13:30	Lunch
13:30 - 14:00	**Hardware for Artificial Intelligence** Professor Thomaz Petrokowski Department of Computer Science Acadia University Wolfville, Nova Scotia
14:00 - 14:30	**The Role of Theory** Professor Raymond Reiter Department of Computer Science University of British Columbia
14:30 - 14:45 p.m.	Coffee
14:45 - 16:45 p.m.	**Artificial Intelligence: A National Priority? A Canadian Fifth Generation System: Industry and Government Involvement? Where will the Money Come From?**
16:45 - 17:00 p.m.	Closing Remarks Mr. Jorge Miedzinski

LIST OF PARTICIPANTS

Lewis Auerbach
CRTC
Hull, Québec

John W. Ball
GEAC Computers
Markham, Ontario

Robert Baser
Department of Communications
Ottawa, Ontario

Marc Beauchamp
President
Novacap Investments
Montréal, Québec

Laurent Bourbeau
Bureau des Traductions
Direction de la Technologie
Secrétariat d'État
Hull, Québec

David Burden
Convergent Technologies
Ottawa, Ontario

Professor Tom Carey
University of Guelph
Guelph, Ontario

Professor Nick Cercone
Department of Computer Science
Simon Fraser University
Burnaby, British Columbia

Donald Chisholm
President
Innovation & Development
Northern Telecom Limited
Mississauga, Ontario

William Coderre
National Research Council
Ottawa, Ontario

John Collins
AES Data
Montréal, Québec

Arthur J. Cordell
Science Council of Canada
Ottawa, Ontario

Alistair Davidson
Laventhol and Horwath
Toronto, Ontario

Nick Dawes
Systemhouse Ltd.
Ottawa, Ontario

Denzil Doyle
Kanata, Ontario

Professor E.W. Elcock
Department of Computer Science
University of Western Ontario
London, Ontario

Nardin Ghahary
HiTech Canada
Ottawa, Ontario

Professor Randy Goebel
Department of Computer Science
University of Waterloo
Waterloo, Ontario

Takashi Gomi
Gomi A.I. Systems
Kanata, Ontario

Gerald Grant
Woods Gordon
Toronto, Ontario

Pierre Isabelle
Montréal, Québec

Kenneth Iverson
I.P. Sharp Associates Ltd.
Toronto, Ontario

A. Kasvand
National Research Council
Ottawa, Ontario

Professor Roger Kaye
Department of Computer Science
Carleton University
Ottawa, Ontario

Professeur Richard Kittredge
Département de linguistique
et philologie
Université de Montréal
Montréal, Québec

Maurice L'Abbé
Science Council of Canada
Ottawa, Ontario

Professor Wilf Lalonde
Department of Computer Science
Carleton University
Ottawa, Ontario

J. James Mackie
Vice President
Mitel Corporation
Kanata, Ontario

Professor Allan Mackworth
Department of Computer Science
University of British Columbia
Vancouver, British Columbia

J. Maksym
Defence Research Establishment
Atlantic
Dartmouth, Nova Scotia

Gwynneth Martin
Treasury Board
Ottawa, Ontario

David McCart
SB Capital
Toronto, Ontario

Murdoch McKinnon
CAE Electronics Ltd.
Montréal, Québec

P. Mermelstein
Bell Northern Research
Montréal, Québec

J. Miedzinski
Science Council of Canada
Ottawa, Ontario

J. de Montingy
Convergent Technologies
Ottawa, Ontario

Renato de Mori
Associate Professor
Computer Science Department
Concordia University
Montréal, Québec

Margaret Munro
Southam News
Ottawa, Ontario

Professor John Mylopoulis
Department of Computer Science
University of Toronto
Toronto, Ontario

Nobuyuki Otsu
(NRC Visitor)
Senior Research Officer
Mathematical Engineering Section
Inormation Science Division
Electrotechnical Laboratory
Ottawa, Ontario

Professor Ray Perrault
Department of Computer Science
University of Toronto
Toronto, Ontario

Professor Thomaz Pietrzykowski
School of Computer Science
Acadia University
Wolfville, Nova Scotia

Birendra Prasada
Bell-Northern Research
Verdun, Québec

John Pugh
School of Computer Science
Carleton University
Ottawa, Ontario

Kenneth Pulfer
Vice-President
Laboratories
National Research Council
Ottawa, Ontario

Professor Zenon Pylyshyn
Department of Computer Science
University of Western Ontario
London, Ontario

Professor Raymond Reiter
Department of Computer Science
University of British Columbia
Vancouver, British Columbia

Judith Scott
Gandalf Technologies Inc.
Manotick, Ontario

Robert W. Shaw
Public Works Canada
Ottawa, Ontario

Professor Douglas Skuce
Department of Computer Science
University of Ottawa
Ottawa, Ontario

Alfred Stein
Continuum
Toronto, Ontario

Bob Steklasa
Financial Post
Ottawa, Ontario

David Stewart-Patterson
Globe and Mail
Ottawa, Ontario

Professeur M.G. Strobel
Département de Psychologie
Université de Montréal
Montréal, Québec

G.D. Sutton
President
Canadian Enterprises
Development Corporation Ltd.
Toronto, Ontario

Marla Tenenbaum
Elliott & Page
Toronto, Ontario

Andrej Tenne-Sens
Department of Communications
Ottawa, Ontario

John Tsotsos
Professor
Department of Computer Science
University of Toronto
Toronto, Ontario

George Young
Industry, Trade and Commerce
Ottawa, Ontario

Professor S.W. Zucker
Computer Vision & Robotics Lab
Department of Electrical Engineering
McGill University
Montréal, Québec

Conseil des sciences du Canada

L'Atelier sur l'intelligence artificielle

organisé par le
Conseil des sciences du Canada

Compte rendu 83/1F

L'ATELIER SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Octobre 1983

Le Conseil des sciences du Canada publie le compte rendu de conférences ou de séminaires réunissant des experts en divers domaines, en vue de disséminer leurs concepts et leurs opinions auprès des lecteurs intéressés. Les communications présentées et les opinions émises ne reflètent pas nécessairement celles du Conseil.

On peut obtenir gratuitement des exemplaires du Compte rendu de

L'ATELIER SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

en s'adressant au:

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa, Ont.
K1P 5M1

Copies of
A Workshop on Artificial Intelligence
are also available free of charge.

Ministre des Approvisionnements et Services, 1983

n° de cat. SS24-19/1983F
ISBN 0-662-92219-0

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos 5

I. INTRODUCTION 9

L'intelligence artificielle 11

Historique du développement de l'intelligence artificielle 17
Une introduction multiple 17
De Dartmouth à Ottawa 19

II. LES THÈMES DES RECHERCHES EN I.A. 25

I^er thème - L'informatique et la représentation des connaissances 27
Les systèmes experts 27
Représentation des connaissances et programmation logique 32
Les ordinateurs de dialogue 35
Structures arborescentes et analyse combinatoire, en digression 37
Conclusions 40

II^e thème - Le langage naturel et la traduction automatique 41

III^e thème - Vision et parole 45
La vision artificielle 45
Reconnaissance et synthèse de la parole 49

IV^e thème - Applications et répercussions 53
Le bureau de l'avenir 53
Planification à long terme et prise de décision 54
Équipement et théorie 56
Le matériel informatique 56
Rôle de la théorie 57

Récapitulation 59

III. UNE POLITIQUE EN MATIÈRE D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE 61

Les problèmes 63
Le financement de la recherche 63
L'Administration publique: chef de file ou conseillère? 65
Leadership: demain, il sera trop tard 66
Création d'un centre de recherches en I.A. 67
L'intelligence artificielle et la diffusion du savoir-faire technique 68

Recommandations 71

Ordre du jour 73

Liste des participants 76

AVANT-PROPOS

Depuis 1979, le Conseil des sciences analyse les incidences de l'utilisation des ordinateurs et des techniques associées sur l'industrie, l'enseignement, l'emploi et la société en général. Cette étude d'envergure a débouché en 1982 sur la publication du Rapport n° 33 du Conseil des sciences: Préparons la société informatisée - Demain, il sera trop tard. La question de l'intelligence artificielle (I.A.) y était évoquée mais, comme les progrès en ce domaine sont extrêmement rapides, le Conseil a compris la nécessité d'examiner plus en détail les paramètres sociaux et économiques du développement de l'I.A. C'est pourquoi il a réuni un Atelier à ce propos les 20 et 21 janvier 1983.

Cet Atelier a agi comme un catalyseur entre les spécialistes de l'I.A. de tout le Canada. Quelque 60 participants y ont débattu, pendant deux journées, l'état actuel des progrès de l'I.A., et envisagé la voie à suivre pour son développement futur. Parmi l'assistance se trouvaient des chercheurs des secteurs universitaire, industriel et public, ainsi que des chefs d'industrie, des décideurs publics et des investisseurs en capital-risque.

Le Conseil des sciences, qui avait organisé l'Atelier, publie le Compte rendu de son déroulement pour mieux informer les décideurs et le public en général de l'état actuel du développement de l'intelligence artificielle, non seulement au Canada, mais aussi ailleurs dans le monde. La population et ses représentants doivent bien comprendre comment les progrès de cette technologie influenceront l'emploi, l'organisation des entreprises et la

structure sociale. De leur côté, les gouvernements devront reconsidérer leur politique industrielle et mettre en évidence les meilleurs moyens d'encourager et de faciliter le développement de l'I.A. Quant aux hommes politiques, ils doivent savoir comment les nouvelles applications profiteront à l'industrie. Le Conseil des sciences, grâce à cet Atelier, a obtenu des réponses à des questions en suspens au sujet des progrès de l'I.A., et s'en servira pour élaborer des recommandations d'action publique.

En prononçant son allocution d'ouverture, le D^r^ Stuart Smith, président du Conseil des sciences, a posé une série de questions concernant *l'état du système organisationnel où s'insèrent les dispositifs d'I.A., la nature du soutien le plus efficace de l'État au développement de l'I.A., et l'importance des subventions, des projets d'action, de la formation des spécialistes et des échanges d'idées*. Les participants ont ensuite écouté une série d'exposés sommaires présentés par des experts en I.A. Comme les participants à l'Atelier étaient surtout des spécialistes de ce domaine, les échanges d'idées et les débats ont été largement techniques, et ont porté sur des thèmes connus par l'assistance. Sans connaissances de base sur l'I.A., le profane ne pourrait guère les comprendre, et c'est pourquoi ce Compte rendu brossera un tableau général bien délimité de la R-D canadienne en matière d'intelligence artificielle, plutôt que de donner une série d'analyses des communications. Tout en respectant fidèlement l'esprit de l'Atelier, ce Compte rendu déborde le cadre des exposés qui y ont été présentés en s'inspirant d'une documentation additionnelle.

Il faut mentionner les contributions d'un certain nombre de personnes au succès de l'Atelier et à l'élaboration du Compte rendu. En premier lieu, c'est M. Arthur J. Cordell, conseiller scientifique, qui a mis en relief l'opportunité et la nécessité de cette réunion. M. Alfred Stein, de Continuum, de Toronto, a assumé la tâche ingrate d'élaborer l'ordre du jour de la réunion et de dresser une liste principale de participants à inviter. Enfin, c'est M. David Peat, expert-conseil d'Ottawa, qui a rédigé ce Compte

rendu lequel, non seulement reflète l'intérêt évoqué par l'Atelier, mais fournit aussi au lecteur une description générale et complète du domaine de l'intelligence artificielle.

Le Directeur de la recherche
James M. Gilmour

I. INTRODUCTION

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

La définition du terme "intelligence artificielle" fournit quelques indications sur la diversité et l'évolution rapide de ce concept. Le Dictionnaire encyclopédique Larousse en 24 volumes est l'un des seuls dictionnaires de langue française à contenir une rubrique pour l'intelligence artificielle, dont voici la première phrase:

> "Ensemble des procédés informatiques donnant une réponse correcte à des questions qu'il n'est pas possible d'aborder par les mathématiques théoriques".

L'expression est, par ailleurs, mentionnée deux fois dans l'article "Informatique et sciences humaines" de l'Encyclopédie Universalis, dans la section intitulée "L'ordinateur et l'art":

> "On entre... dans la simulation par machine de processus humains, dans "l'intelligence artificielle"".

Certains spécialistes anglophones de l'intelligence artificielle ont proposé leurs propres définitions qu'on peut traduire ainsi:

> "L'intelligence artificielle porte sur l'appréhension des principes de l'intelligence et la construction de modèles de travail basés sur le comportement intelligent humain";

et:

> "L'intelligence artificielle est cette partie de l'informatique qui consiste à concevoir des dispositifs informatiques intelligents,

> c'est-à-dire des ordinateurs qui présentent des caractéristiques que nous associons à l'intelligence humaine: compréhension du langage, apprentissage, raisonnement, résolution des problèmes, etc.";

ou bien, et dans ce cas l'ordinateur semble être bien loin:

> "Un langage technique permettant de discipliner l'imagination".

Le concept d'I.A. nécessite aussi que l'on se soit entendu sur la signification du terme "intelligence" lui-même. Ed Feigenbaum, chercheur éminent de l'Université Stanford, propose la définition suivante:

> "Une action intelligente est une action ou une décision à finalité déterminée, à laquelle on arrive par une série compréhensible d'analyses symboliques et d'étapes de raisonnement, et qui est éclairée et guidée par la connaissance de la réalité environnante".

D'autres chercheurs proposent, bien entendu, des définitions différentes. C'est pourquoi il ne paraît guère utile, à cette étape de l'évolution de l'I.A., d'élaborer une définition globale unique car, pendant sa courte histoire, les objectifs et les approches des chercheurs ont radicalement changé. Au cours des années 1950, ils voulaient construire un cerveau artificiel qui pourrait imiter toute une gamme de fonctions du cerveau humain. Aujourd'hui, ils s'intéressent bien plus au développement d'applications réalistes et pratiques dans un nombre de domaines restreints. Et à mesure que l'informatique continue de progresser et que de nouvelles connaissances théoriques sont acquises, l'I.A. pourra encore changer d'orientation.

L'I.A. constitue actuellement un domaine d'étude très cohérent avec ses théories, ses expériences et ses applications issues de l'informatique, de l'ingéniarie, des mathématiques, de la logique, de la physique, de la psychologie, de l'ergonomie, de la neurologie, de la linguistique, etc. Chaque discipline apporte ses propres outils et sa méthodologie, et il n'est pas rare que des chercheurs de disciplines très diverses oeuvrent ensemble à un projet de recherches en I.A.

S'il n'existe pas de définition largement acceptée de l'I.A., ni de formation identique pour les chercheurs en I.A., il n'est pas non plus toujours possible de dire qu'un élément d'ordinateur est une application de l'I.A. Un grand ordinateur coûteux peut exécuter ses tâches selon les méthodes classiques et ne comprendre pratiquement aucun élément constituant une application de l'I.A. Par contre, un jeu d'échec vidéo peu coûteux ou la liseuse de code à bâtonnets de la caisse du supermarché constituent deux applications des résultats des recherches en I.A. Le robot industriel est l'objectif d'une attaque frontale des chercheurs qui, par contre, laissent de côté la montre parlante. Actuellement, l'intelligence artificielle ne constitue plus un objectif en elle-même, mais elle anime une série d'applications diverses et utiles, en s'étayant sur une masse croissante de connaissances sur les ensembles abstraits et sur le fonctionnement du cerveau humain.

Les définitions ci-dessus et nos observations aident-elles le profane à retrouver son chemin dans le domaine de l'I.A., en évolution si rapide?

En quelques mots, l'intelligence artificielle est un domaine de recherches et d'applications informatiques, où l'ordinateur se comporte de façon que nous pouvons qualifier de rationnelle. Cet ordinateur, tout comme les êtres intelligents, doit pouvoir appréhender la réalité extérieure et se fonder sur cette compréhension pour raisonner, déduire, évaluer et planifier. Sa réflexion électronique lui permettra d'agir de façon appropriée dans chaque situation nouvelle.

Il s'ensuit que l'ordinateur intelligent rassemble de l'information sur son environnement et la réalité extérieure grâce à la perception visuelle, au décodage du langage, à la perception tactile et à la manipulation, et aussi par des moyens techniques plus classiques comme les claviers, la digigraphie et les bandes et disques magnétiques. Les données sont stockées, classées et associées à d'autres connaissances générales contenues dans la mémoire de l'ordinateur. Celui-ci utilise toute l'information

de base, de même que les données concernant directement la tâche qu'il doit exécuter et résoud le problème, demande d'autre information ou accomplit une autre action raisonnée. L'ordinateur répond par le truchement d'une sortie d'imprimante, d'un affichage sur écran cathodique, d'une émission de voix ou de déplacements d'organes préhensibles.

Naguère, les chercheurs en I.A. s'efforçaient de conférer toutes ces capacités à un seul robot ou à un super-ordinateur. Mais cette entreprise s'est révélée trop ambitieuse et, tout comme les êtres vivants, l'intelligence artificielle s'est développée par un processus de spécialisation. Actuellement, les dispositifs issus de la recherche en I.A. commencent à remplir plusieurs fonctions du domaine de l'information: vision artificielle, systèmes experts, traduction automatique, reconstitution des images, ordinateurs de dialogue, robots industriels, ordinateurs décisionnels, machines de bureau et banques intelligentes de données. Le fonctionnement de ces dispositifs utilise plusieurs principes de l'I.A. et c'est sur ceux-ci, de même que sur certaines applications importantes qu'ont porté les débats de l'Atelier.

La société a-t-elle besoin de l'I.A.? Faut-il construire des ordinateurs accomplissant des activités humaines?

Le chômage afflige le Canada tout comme bien d'autres pays occidentaux, mais cette question n'a pas été évoquée lors de l'Atelier. Il est probable que l'ordinateur intelligent, tout au moins au cours des dix années qui viennent, constituera plus un partenaire qu'un rival pour les travailleurs intellectuels, à cause de ses capacités particulières et de ses sérieuses limitations. Mais il est difficile de prévoir ce dont la société informatisée aura besoin à l'issue du XXI^{e} siècle. Voici ce qu'a déclaré l'un des participants à ce propos:

> "Il y a des actions que nous accomplissons si bien que nous n'avons même pas besoin d'y penser; nous les faisons inconsciemment, et c'est justement cela que les ordinateurs trouvent le plus difficile à faire.

Par contre, les ordinateurs excellent dans les calculs répétitifs et les actions que nous trouvons fastidieuses".

Jusqu'à maintenant, l'ordinateur ne concurrence pas l'homme dans les activités que celui-ci aime et fait bien. La perception visuelle par l'ordinateur illustre bien ce fait. Les dispositifs de vision artificielle sont particulièrement maladroits lorsqu'il s'agit de reconnaître des objets complexes; leurs capacités sont dépassées même par l'identification de simples objets pleins sur un arrière-plan bien distinct. L'homme, par contre, est merveilleusement habile dans ce genre d'activité; il repère aisément un petit oiseau dans la Nature, et reconnaît le visage d'un ami dans une foule qui se déplace. Dans l'avenir immédiat, tout au moins, il est donc certain que les ordinateurs ne pourront pas concurrencer les humains sur le plan de la vision générale.

Toutefois, le dispositif de perception visuelle de l'ordinateur peut mesurer avec précision des formes simples qu'il a appris à distinguer. Ce dispositif peut balayer rapidement une série de plaques photographiques montrant des traces de particules nucléaires et détecter une anomalie ou un changement. Pour effectuer le même travail, l'observateur humain devra posséder une formation technique et se servir d'appareils de mesure précis. Il mettra beaucoup plus de temps à accomplir ce travail, se trompera souvent et trouvera sa tâche particulièrement fastidieuse. C'est pourquoi, l'ordinateur peut accomplir les tâches de détection visuelle qui rebutent les humains.

Prenons un autre exemple, et comparons un atelier d'artisan avec une bande transporteuse. Le robot, pour s'adapter au premier environnement, épuiserait ses capacités d'action créatrice, mais dans le second, celui d'un environnement bien structuré, il peut agir de façon très efficace et exécuter indéfiniment des tâches répétitives, que tout travailleur trouverait abrutissantes.

Les robots intelligents permettent également d'étendre le domaine d'action de l'homme. Ils peuvent façonner des objets très petits (microchirurgie et circuits imprimés) ou manipuler des objets très gros (équipement lourd). Ils peuvent aussi remplacer l'homme dans des milieux dangereux comme les centrales nucléaires, les usines de produits chimiques, l'espace et les fonds océaniques. Jusqu'à maintenant, les robots et les ordinateurs à intelligence artificielle exécutent surtout des tâches que les hommes ne veulent ou ne peuvent pas accomplir. À cette étape du développement de l'I.A., les cerveaux formés de composés organiques et ceux à base de microcircuits sur silicium ne se concurrencent pas encore, et se complèteront peut-être plus tard grâce à leur symbiose.

HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Une introduction multiple

Le concept de machine capable d'action humaine se retrouve déjà dans le mythe de la statue animée par Pygmalion, de l'homuncule de Paracelse, du golem pragois auquel le rabbin Loew donnait vie, et des automates du XVIII^{e} siècle. Un des plus grands arcanes des alchimistes du Moyen-âge devait servir à la création de la vie à partir de la matière inerte. Plusieurs des fondateurs de la science de l'intelligence artificielle se targuent d'être les héritiers de cette tradition.

C'est après 1940 que, pour la première fois, on a estimé possible de construire une machine imitant les fonctions du cerveau humain. Les premiers ordinateurs nous semblent aujourd'hui très rudimentaires, mais leurs concepteurs s'étaient rendu compte que leurs circuits électroniques permettaient de reproduire quelques processus mentaux. À l'époque, certains cybernéticiens et spécialistes du système nerveux central affirmaient, du moins sur le plan théorique, qu'il devrait être possible de construire un ordinateur reproduisant de nombreuses activités cérébrales. L'utilisation de cette intelligence électronique aurait des incidences considérables, non seulement sur les activités de l'industrie, mais aussi sur l'ensemble de la société. Ces visionnaires estimaient aussi que l'ordinateur constituerait un outil précieux pour explorer le plus grand des mystères scientifiques: la nature du cerveau humain.

Les premiers chercheurs en I.A. analysaient une similitude souvent mise en relief entre le cerveau et la technologie la plus complexe à une certaine

époque. Au XVIII^{e} siècle, par exemple, on croyait que le cerveau exécutait sa fonction de commande grâce à des phénomènes hydrodynamiques. Les impulsions émises par le cerveau étaient, disait-on, communiquées aux organes du corps par le truchement de fluides s'écoulant dans des tubes étroits. On estimait ainsi que les jeux d'eau complexes des fontaines du XVIII^{e} siècle reproduisaient le comportement animal.

Au XIX^{e} siècle, l'utilisation des régulateurs pour commander les nouvelles machines de l'industrie attira l'attention du monde scientifique. Grâce à l'étude de ces mécanismes de régulation, ils découvrirent les principes de rétroaction et les associèrent à l'homéostasie chez les animaux. Ces recherches conduisirent au développement de la cybernétique et de la théorie générale des systèmes.

Au début du XX^{e} siècle, on croyait que le cerveau, à l'instar d'un réseau téléphonique, fonctionnait comme un central et recevait et renvoyait des signaux par l'intermédiaire des nerfs. Vers 1950, cette théorie a été abandonnée et le cerveau a dès lors été comparé à un ordinateur capable de stocker et de traiter l'information.

Mais chacune de ces premières comparaisons est d'application strictement limitée. Ce qui avait d'abord semblé être un modèle prometteur ne reproduit en fait qu'une infime partie des activités nombreuses du cerveau. Ainsi celui-ci utilise-t-il le principe de rétroaction pour régir certaines fonctions internes du corps, mais ses capacités ne s'arrêtent pas là. Les actes réflexes sont provoqués par la retransmission de messages électriques par un "central" situé dans le cerveau ou la moelle épinière: mais les nerfs ne fonctionnent pas de la même façon que des lignes téléphoniques et le cerveau est beaucoup plus qu'un central.

Aujourd'hui, les spécialistes du système nerveux central savent que le cerveau humain ne fonctionne pas comme un ordinateur, mais la métaphore "intelligence artificielle" reste valable. Les chercheurs en I.A. continuent de mettre au point des applications importantes et d'explorer la

nature de la vision, de la parole, de l'intelligence et du langage humains. L'expérience a cependant montré que cette comparaison peut fort bien être abandonnée pour une autre.

De Dartmouth à Ottawa

L'I.A. a été pour la première fois admise comme discipline lors d'une Conférence qui s'est déroulée au Collège Dartmouth en 1956. Claude Shannon, Marvin Minsky, John McCarthy, Al[illegible]n Newell, Herbert Simon et d'autres chercheurs éminents s'y étaient réunis pour préciser les orientations à prendre en I.A.

Dans une large mesure, les bases de cette discipline avaient été établies bien avant la Conférence de Dartmouth. En 1943, par exemple, Warren McCulloch et Walter Pitts avaient fait une étude théorique des neurones du cerveau, et déduit qu'ils fonctionnaient comme des commutateurs binaires (marche-arrêt). Ces deux chercheurs se sont ensuite efforcés de prouver qu'un réseau de ce genre de commutateurs pouvait accomplir toutes les fonctions de la logique symbolique. Il s'agissait là d'un résultat étonnant et important, car il montrait qu'un groupe d'objets simples (les commutateurs marche-arrêt), qui constituent justement le bloc fonctionnel d'un ordinateur, était capable d'effectuer des opérations logiques complexes.

En 1948, Norbert Wiener publia un ouvrage intitulé: Cybernetics, dans lequel il établissait des analogies entre les modèles mathématiques des servomécanismes et le fonctionnement interne des systèmes biologiques. Au cours de la même année, Claude Shannon élabora la formule mathématique de l'information et du bruit de fond.

Dès 1950, les scientifiques prenaient l'intelligence des ordinateurs suffisamment au sérieux pour qu'Alan Turing proposât un test d'intelligence pour ordinateurs. Voici en quoi il consiste: on engage un dialogue avec une entité inconnue par l'intermédiaire de messages écrits. À la fin de la conversation, on se demande si l'interlocuteur est un être humain ou

non. Si on estime qu'il s'agit d'un être humain et que l'interlocuteur s'avère être un ordinateur, alors il faut le considérer comme intelligent. (Le test de Turing semblait parfaitement raisonnable il y a 30 ans, mais aujourd'hui nous savons que le médecin et le psychiatre automates peuvent induire certaines personnes en erreur et leur faire croire qu'elles parlent à un être compatissant. Serait-ce que les humains sont moins intelligents que nous ne le pensions?).

En 1952 enfin, dans son ouvrage: Design for a Brain, W. Ross Ashby proposa d'autres modèles mathématiques du cerveau. Donc, en 1956, on avait largement exploré les caractéristiques théoriques des ordinateurs, du système nerveux central, de l'information et de la cybernétique. L'avenir de l'I.A. semblait prometteur et les participants à la Conférence de Dartmouth étaient très optimistes. Ils prédisaient qu'en 1970 on aurait construit un ordinateur capable de jouer aux échecs comme un champion, d'élaborer des théorèmes mathématiques importants, de composer de la musique digne des grands compositeurs classiques, de comprendre le langage parlé et de traduire les textes.

Plusieurs projets de recherche, tous plus ambitieux les uns que les autres, ont également été envisagés à Dartmouth:

- Un réseau complexe de neurones artificielles qui accomplirait certaines fonctions d'un cerveau artificiel.
- Un robot qui pourrait élaborer une image interne de son environnement.
- Un programme informatique pour déduire des théorèmes des Principia Mathematica.
- Un programme de jeu d'échecs qui procurerait également des aperçus importants sur la nature de l'intelligence humaine.
- Un modèle du cortex visuel.

Toutefois, dès le début des années 1960, l'optimisme affiché à la Conférence de Dartmouth avait disparu, lorsque la complexité réelle des

problèmes posés par la réalisation de l'intelligence artificielle était apparue dans toute son ampleur. Les divers projets envisagés en 1956 n'avaient pas donné les résultats espérés, et les difficultés réelles n'étaient pas toujours bien comprises.

L'I.A. avait évoqué de grands espoirs, mais les résultats effectifs étaient si minimes que, vers la fin des années 1960, l'intérêt à son égard avait beaucoup diminué. C'est ainsi que la recherche en traduction automatique avait mis en évidence les subtilités et les difficultés effectives de la compréhension du langage naturel, mais n'avait guère produit de programme commercialisable de traduction. En 1966, le principal programme étatsunien de recherches en ce domaine fut abandonné. Les recherches sur la résolution des problèmes se sont également heurtées à de graves difficultés lorsqu'on a découvert que le nombre de solutions possibles qu'un ordinateur devrait analyser pour résoudre un problème de difficulté raisonnable était beaucoup trop grand pour les machines de l'époque, et nécessitait des durées excessives de temps machine (voir p. 37 la section intitulée "Structures arborescentes et analyse combinatoire").

Peu avant 1970, l'I.A. était pratiquement abandonnée. Le financement des principaux programmes avait été réduit ou supprimé, et il était devenu difficile de convaincre les administrateurs universitaires et les décideurs de l'État de l'importance de ce domaine de recherches. Pourtant, même pendant ces heures sombres, les chercheurs en I.A. tiraient les leçons de leurs erreurs. Tout d'abord, ils avaient compris qu'il ne fallait pas s'efforcer de construire une intelligence électronique universelle ni s'attaquer à des problèmes trop généraux. Au cours des années 1970, ils allaient axer leurs recherches sur la résolution de problèmes bien délimités et sur des applications dans un environnement sans surprise.

D'importantes approches techniques avaient aussi été mises au point au cours des années 1960, et elles seraient appliquées avec succès au cours des années 1970. La meilleure façon d'illustrer ces nouvelles approches consiste à les comparer à la résolution des problèmes par le cerveau humain.

Face à un problème difficile, l'homme ne suit pas nécesssairement un processus strictement logique ni n'examine chaque possibilité avec la même attention. Il bâtit des hypothèses et utilise des méthodes empiriques; il simplifie et subdivise le problème et base sa méthode de résolution en imitant celle d'un problème antérieur. De plus, il laisse de côté certains détails et suit une approche "globale" en s'efforçant de jongler avec plusieurs choses à la fois.

Les chercheurs en I.A. ont compris que chaque problème exige une méthode particulière de résolution et doit être abordé par des voies conjecturales ou empiriques. Par conséquent, ils ont conçu des ordinateurs accomplissant plusieurs fonctions en même temps ou, en termes techniques, capables d'effectuer des traitements en simultanéité et d'être exploité en temps partagé. De plus, ils ont élaboré de nouveaux langages de programmation mieux adaptés à la résolution de problèmes et aux travaux en I.A. Ainsi, la conjonction des nouvelles méthodes et des progrès techniques d'une part, et la réduction des objectifs visés par les chercheurs en I.A. d'autre part, ont donné un nouvel essor aux recherches en I.A. après 1975. Cette renaissance fut étayée par les progrès de la connaissance théorique des problèmes particuliers à l'I.A. En linguistique, par exemple, la théorie des structures linguistiques profondes de Noam Chomsky a eu un effet considérable sur la traduction automatique, les ordinateurs de dialogue et la reconnaissance des langages naturels.

Une conséquence encore plus importante de la mise en oeuvre de ces progrès a été la prise de conscience de la nécessité de conférer aux ordinateurs "intelligents" une connaissance générale du monde réel. En effet, c'est l'accumulation de données de toutes sortes sur celui-ci qui permet à l'individu de résoudre les problèmes quotidiens. Nous savons que la nuit succède au jour, que les objets tombent vers le sol, que les ombres se déplacent selon la position du soleil, et que les légumes poussent au jardin et sont vendus dans certains magasins. Nous avons une connaissance des gens et de la société, des croyances et des actions, des loisirs et du travail quotidien. Sans cette information de base, il serait quasiment

impossible de comprendre une conversation générale entre deux personnes et de résoudre adéquatement la multitude des problèmes quotidiens.

Les chercheurs en I.A. savent maintenant qu'il faudrait doter les ordinateurs de ces connaissances de base essentielles. Les dispositifs de reconnaissance de la parole, par exemple, dépendent de la capacité de l'ordinateur à comparer les sons perçus avec l'image acoustique des syntagmes de phrases qu'il contient. Mais cette comparaison suppose que l'ordinateur a déjà relié des syntagmes successifs. Pour ce faire, l'ordinateur doit, non seulement comprendre la sémantique et la syntaxe, mais également la signification d'une phrase particulière dans l'ensemble du message oral, et cela nécessite une connaissance générale du sujet de la conversation.

De nos jours, dans presque tous les domaines de l'I.A., l'ordinateur est doté d'une base de connaissances sur le monde extérieur. Cette base est devenue indispensable à tant de réalisations en intelligence artificielle qu'on a entrepris des recherches considérables sur les meilleurs moyens de stocker et d'exploiter ces connaissances.

Les progrès réalisés au cours des cinq dernières années ont été facilités par le perfectionnement des ordinateurs. À mesure que la capacité informatique des microcircuits s'accroît, l'ordinateur devient plus rapide, plus puissant et plus compact, et son prix diminue. Même les petites équipes de recherche ont maintenant accès à des ordinateurs de puissance considérable. D'autre part, les problèmes que l'ordinateur ne pouvait auparavant traiter à cause d'une mémoire insuffisante ou d'un traitement de trop longue durée peuvent aujourd'hui être résolus. Et ces progrès de l'électronique s'accélèrent, comme l'a fait observer un des participants:

> "Je crois que d'ici cinq ans, le champion au jeu d'échecs ne sera plus un humain, mais un ordinateur. Ce n'est pas que l'ordinateur soit plus intelligent, mais bien qu'un décuplement de sa rapidité équivaut à l'addition de plusieurs points de Q.I. Plus l'ordinateur va vite, mieux il peut analyser tous les coups possibles et appliquer des algorithmes différents".

Il est maintenant possible de fabriquer des dispositifs "intelligents" équipés d'une capacité informatique, sans qu'il soit nécessaire de les raccorder à une installation informatique distante. Peu avant 1980, les constructeurs d'ordinateurs avaient entrepris de concevoir et de fabriquer des ordinateurs destinés aux travaux en I.A., et les premiers dispositifs intelligents ont été commercialisés. On vend aujourd'hui des micro-ordinateurs qui jouent aux échecs, au jacquet et aux dames. Des robots travaillent dans les usines, certaines machines sont commandées par la voix et de nombreuses caisses de supermarché sont équipées de liseuses de codes à barres.

Grâce au perfectionnement des ordinateurs et aux nouveaux dispositifs d'exploitation de l'intelligence artificielle comme les bases de connaissances, les nouveaux langages de programmation, les stratégies et la recherche conjecturelle, ce domaine attire de nouveau l'intérêt public. L'I.A. constitue actuellement une discipline en progrès rapide, qui est considérablement subventionnée dans certains pays. Même si les chercheurs en I.A. ne font plus de prédictions trop générales et trop optimistes comme l'ont fait les participants à la Conférence de Dartmouth, ils peuvent au moins citer des applications réussies et se pencher sur des secteurs d'étude prometteurs.

II. LES THÈMES DES RECHERCHES EN I.A.

L'intelligence artificielle constitue un domaine d'études concertées de chercheurs de disciplines très diverses associant leurs connaissances et leur expérience pour résoudre des problèmes précis. Bien qu'actuellement la recherche en I.A. soit répartie en un certain nombre de secteurs étroits, chaque progrès se répercute dans l'ensemble du domaine et se fonde sur des principes issus de divers aspects de l'intelligence artificielle.

Pour plus de clarté, nous avons divisé le présent Compte rendu en sections qui traitent chacune d'un aspect particulier de l'intelligence artificielle. Cependant, cette division est un peu arbitraire, car les intérêts des divers chercheurs en intelligence artificielle se recoupent et les mêmes problèmes se posent dans plusieurs domaines d'application.

I^er THÈME - L'INFORMATIQUE ET LA REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES

L'un des domaines les plus importants de la recherche actuelle en I.A. est celui de la représentation des connaissances et des bases de connaissances. Ces bases sont des ensembles ordonnés de faits sur le monde extérieur, qui sont utilisés dans les travaux fondamentaux sur les "systèmes experts", la résolution des problèmes, la vision artificielle, la compréhension des langages naturels et la reconnaissance de la parole. Il s'agit d'un progrès capital dans l'utilisation des ordinateurs. Comme l'a déclaré un des participants:

> "Lorsque l'ordinateur est passé du calcul au traitement du savoir lui-même, on lui a fait accomplir une sorte de mutation".

Au cours de l'Atelier tenu à Ottawa, plusieurs intervenants ont traité de représentation optimale des connaissances et de leur traitement informatique. Les participants ont également débattu les langages de programmation qui conviennent le mieux à la représentation des connaissances et l'utilisation des bases de connaissances dans les ordinateurs de dialogue et les systèmes experts.

Les systèmes experts

Ces ordinateurs spécialisés constituent aujourd'hui la réalisation la plus spectaculaire de la recherche en I.A. Ils sont d'une importance pratique évidente pour les entreprises et les spécialistes, et montrent aux profanes comment les ordinateurs peuvent résoudre des problèmes de façon intelligente.

Un des intervenants a donné une définition de cette spécialité nouvelle:

"Les systèmes experts sont des ordinateurs conçus pour reproduire le savoir-faire d'un spécialiste dans son domaine".

Ces ordinateurs tirent parti des connaissances accumulées des experts en un certain domaine. Lorsqu'on leur fournit l'information de base concernant un cas ou une situation particulière, ils sont capables, par exemple, de faire un diagnostic médical, de prévoir la structure chimique d'une molécule ou d'indiquer les localisations possibles des gîtes de minerai.

Certains problèmes courants peuvent être résolus par l'application mécanique de règles simples, tel l'établissement d'un bilan sommaire ou le repérage d'une défectuosité dans une machine. La solution peut également être donnée par un logiciel approprié, mais ce n'est pas la destination du système expert.

M. Douglas Skuce, de l'Université d'Ottawa, a déclaré que le domaine d'utilisation idéal du système expert est celui des problèmes obscurs, qui ne peuvent être facilement résolus en suivant un nombre limité de règles. Le médecin qui établit un diagnostic, par exemple, se sert de procédés empiriques, de son intuition et de son jugement en se fondant sur une information incomplète, et compare ces observations avec la description de cas similaires et l'expérience accumulée au fil des années. Le système expert vise à structurer cette connaissance implicite, afin qu'elle puisse être utilisée.

Le système expert parfait, non seulement fournit des solutions précises à des problèmes complexes, mais explique également le cheminement qui lui a permis d'arriver à ses conclusions. Il apprend par expérience, structure l'information nouvelle et détecte les incompatibilités de sa base de connaissances. Il ne choisit que les opérations pertinentes pour la résolution d'un problème et, à l'instar d'un bon expert humain, il est conscient

de ses propres limites. Bien que les systèmes experts commercialisés soient dotés de plusieurs de ces caractéristiques, ils ont tous des limites et aucun d'entre eux n'a encore atteint les performances d'un expert humain.

On a conçu et commercialisé un certain nombre de systèmes experts depuis quelques années, et le tableau I en mentionne quelques-uns. Les systèmes experts PUFF, MYCIN et CADUCEUS ont obtenu de forts taux de succès dans le diagnostic de certaines maladies, DENDRAL et CHRYSALIS servent à l'interprétation des spectrogrammes de masse et des diagrammes de diffraction électronique respectivement; PROSPECTOR indique la localisation des gîtes miniers et a déjà permis la découverte d'un gisement de molybdène. D'autres systèmes experts permettent de concevoir le matériel électronique, et aident les programmeurs et les mathématiciens. Des systèmes experts constituent également la base de certains programmes d'apprentissage assisté par ordinateur.

Quelques systèmes experts utilisant une large base de connaissances sont très performants. Ils servent de consultants à certains spécialistes comme les médecins et les ingénieurs, et rendent accessibles partout l'expérience et les connaissances d'un expert de niveau international. D'autres systèmes experts servent d'assistant ou de stagiaire, en remplaçant le spécialiste dans ses tâches fastidieuses.

En dépit de leurs succès, les systèmes experts ne sont disponibles que dans certains domaines spécialisés et, parfois, ils ne fournissent pas de détails concluants sur le processus qui les a conduits à la conclusion. De plus, ils ont la fâcheuse habitude de "déraisonner" lorsqu'ils arrivent aux limites du domaine pour lesquels ils sont programmés. Au lieu d'indiquer qu'ils les ont atteintes, ils continuent de proposer sérieusement des solutions, même si celles-ci sont absurdes.

Un des principaux obstacles à la mise sur pied de nouveaux systèmes experts est le temps qu'il faut à l'expert humain pour énoncer ses règles

de la connaissance et ses procédés empiriques, et la difficulté de les incorporer dans un logiciel. Il faut qu'un spécialiste de la connaissance oeuvre avec l'expert humain pendant de nombreux mois, voire des années pour mettre au jour les différentes stratégies et approches utilisées par ce dernier, et les inclure dans le système expert.

Tableau I - Quelques systèmes experts

Logiciels	Fonctions
PUFF	diagnostique les dysfonctionnements pulmonaires et recommande des traitements
PROSPECTOR	aide à la prospection de neuf minerais importants
DENDRAL	indique la structure des molécules organiques en fonction de leur spectrogramme de masse
MYCIN	diagnostique les infections bactériennes et indique les anticorps
VM	interprète les observations sur la respiration d'un malade
AM	découvre des concepts mathématiques
EL	analyse les circuits électroniques et calcule les tensions et les courants
GUIDON	utilise les logiciels experts MYCIN et PUFF pour l'enseignement du diagnostic médical
ABSTRIPS	conçoit des plans de robots devant déplacer des objets entre divers locaux
MOLGEN	conçoit des expériences de génétique moléculaire
CHYRYSALIS	interprète les diagrammes de diffraction électronique des molécules de protéines.

Les experts humains n'arrivent pas toujours à expliquer clairement comment ils utilisent leur intuition et leur expérience. Il est donc possible que le spécialiste de la connaissance doive envisager tout d'abord des cas généraux, puis acquière des aperçus nouveaux en demandant à l'expert d'expliquer des cas spéciaux, des exceptions à la règle et des exemples où une règle doit être enfreinte. Cependant, ce travail laborieux peut être exécuté par le système expert lui-même, proposant un grand nombre de cas que l'expert devra analyser. (Le domaine de la représentation des connaissances est aussi en pleine expansion).

Les systèmes experts de l'avenir devront tenir compte de règles et de faits bien plus nombreux que les logiciels actuels. Ils seront structurés pour traiter d'un ensemble incomplet de connaissances ou de connaissances imprécises, admettront des connaissances provenant de sources différentes et fonctionneront de façon plus souple. Les progrès de la recherche dans ce domaine ont été exposés par MM. John Mylopoulis, Zenon Pylyshyn et Douglas Skuce*.

Les participants à l'Atelier ont convenu qu'il faudrait exploiter ce domaine d'application au Canada; il se prêterait particulièrement bien à une étude plus poussée et certains travaux de recherche sont actuellement en cours. Le système expert PROSPECTOR a été mis au point avec la collaboration d'experts canadiens, et à l'aide de données sur les ressources minières canadiennes, bien que le logiciel lui-même ait été conçu en Californie. Son coût, soit 2 M$, était relativement peu élevé. Les spécialistes canadiens de l'I.A. devraient élaborer des systèmes experts semblables, en particulier dans le secteur de l'exploitation des ressources naturelles.

---

* Voir p. 73.

Représentation des connaissances et programmation logique

La représentation des connaissances consiste dans l'agencement des faits et des données, leur traitement informatique et leur utilisation dans les raisonnements inductifs et déductifs. Elle est indispensable à la réalisation des logiciels experts et à d'autres applications de l'I.A., où une connaissance générale de monde extérieur est nécessaire, et qui évoquent certains des aspects les plus difficiles et les plus stimulants de l'I.A. sur le plan conceptuel.

Au cours des années 1960, les chercheurs s'efforçaient de mettre sur pied des logiciels généraux qui pourraient réussir des jeux et résoudre des problèmes complexes. Mais ces logiciels étaient basés sur un ensemble de règles, et cette approche a empêché tout progrès. Les chercheurs se sont engagés dans une autre voie peu avant 1980, en fournissant aux ordinateurs une base de connaissances générales dans des domaines particuliers. Le succès de leurs tentatives dépend, bien entendu, d'une représentation appropriée des connaissances dans l'ordinateur.

La représentation des connaissances dépend étroitement du choix d'un langage de programmation suffisamment précis pour effectuer des déductions exactes, mais assez souple pour exprimer toutes les relations existant entre des faits très divers. Les langages naturels, par exemple, sont extrêmement souples, mais manquent de précision. Les langages de programmation mathématiques et classiques sont précis, mais d'envergure trop restreinte. Il fallait donc élaborer d'autres langages pour la représentation des connaissances. Ces nouveaux langages associent des caractéristiques empruntées aux langages mathématiques, naturels et de programmation. M. John Mylopoulis, de l'Université de Toronto, a déclaré que trois approches élémentaires avaient été utilisées.

La première emploie les règles de la logique symbolique. Ainsi, des énoncés comme:

"Si X est un étudiant, alors X est une personne",

servent à agencer la base des connaissances. Si, plus tard, l'ordinateur apprend que "X, c'est Jean", il sera capable de déduire que Jean est également une personne. Par l'enchaînement d'ensembles de relations logiques ("si... alors...", "soit... ou ...", etc.), il devient possible d'établir des inférences solides à partir d'un ensemble de faits donné. Les déductions faites par cette approche sont nombreuses, mais limitées actuellement à celles de la logique symbolique classique. Pour être d'utilisation plus pratique, il faut que le système de représentation des connaissances tienne compte de la connaissance partielle ou incomplète, de la méthode empirique, des croyances, du classement chronologique, des métaphores, des actions, de la vraisemblance, etc. Les chercheurs s'efforcent de lui conférer certaines de ces caractéristiques de souplesse.

Une deuxième approche se fonde sur l'utilisation des relations entre objets et faits. Le "Jean" de l'exemple précédent peut être non seulement un étudiant, mais aussi le mari de Claire, le père de Christian, le propriétaire d'un chien et d'une voiture rouge; il peut être, de même, plus grand que Henri et plus vieux que Paul. En fait, on établit donc un réseau complexe de relations entre "Jean" et d'autres personnes et objets dans la base de connaissances. Celle-ci acquiert ainsi une structure particulièrement ramifiée, et de beaucoup supérieure à celle que permet actuellement une représentation à base logique. Toutefois, il est difficile d'établir des inférences nouvelles avec cette approche relationnelle.

"Les processus déclenchés" constituent la troisième approche de représentation. Le langage de programmation se sert d'un fait introduit dans l'ordinateur pour déclencher une série de processus dans la base de connaissance. Le fait "Jean est étudiant" permet à la machine de déduire que "Jean est une personne" ou que "Jean est le mari de Claire". Les représentations à processus sont actuellement en vogue parmi les concepteurs de systèmes experts mais, comme les réseaux relationnels, ils ne disposent que d'une capacité de raisonnement limitée.

M. Myopoulis a précisé que la recherche contemporaine porte sur une nouvelle génération de langages fondés sur certaines caractéristiques des trois approches mentionnées ci-dessus. M. Randy Goebel, de l'Université de Waterloo, a décrit PROLOG, un de ces nouveaux langages à base logique. PROLOG intéresse de nombreux chercheurs en I.A., et a été choisi par les concepteurs japonais pour leur ordinateur de cinquième génération. M. Doug Skuce, qui avait fait auparavant un exposé sur les systèmes experts, a mentionné le langage LESK qui est conçu pour recueillir de façon amène les connaissances de l'expert humain.

Les participants ont quelque peu discuté des mérites des divers langages, mais l'un d'entre eux a déclaré:

> "Tous ces langages posent un problème: leurs partisans se comportent comme des missionnaires et cherchent à imposer celui qu'ils ont choisi. Tant d'affirmations injustifiées finissent par causer des difficultés".

D'autres ont proposé d'éviter toute approche unique de l'ordinateur et d'utiliser un langage pour la représentation de la connaissance et un autre pour la commande.

Certains participants ont aussi mentionné les notions de "cadres" (frames) et de "scénarios" (scripts) à propos de la représentation des connaissances. Les "cadres" ont été imaginés par M. Marvin Minski, du M.I.T., et ils servent à représenter des stéréotypes de connaissances ou des groupes de faits qui peuvent être traités comme un tout. Les "scénarios" ont été élaborés pour représenter des situations dans lesquelles se trouvent souvent les humains. Un exemple bien connu de scénario est celui d'un client au restaurant. Grâce à ce scénario, l'ordinateur prend connaissance d'une série d'expériences humaines englobant des buts, des croyances et des plans, outre les faits bruts.

Les systèmes actuels de représentation des connaissances ne peuvent couvrir que quelques centaines de faits; les participants à l'Atelier

étaient convaincus qu'il serait possible d'envisager toute une gamme d'applications nouvelles lorsque ces systèmes pourront traiter des milliers ou des dizaines de milliers de faits. Toutefois, c'est le langage de représentation des connaissances lui-même qui semble constituer l'obstacle principal à un tel développement. Certains intervenants ont déclaré que, sans percée importante dans le domaine de la représentation, il est improbable que l'envergure des bases de connaissances puisse être décuplée. Pour donner une idée de l'ampleur du problème, M. J. Myopoulis a fait remarquer que certains aspects de la représentation des connaissances évoquaient des questions qui préoccupent les philosophes depuis de nombreuses générations, sans qu'ils aient pu encore y donner des réponses.

Les ordinateurs de dialogue

Sauf les mordus de l'informatique, la plupart d'entre nous préférerions parler à l'ordinateur en langue naturelle. La personne qui utilise quotidiennement l'ordinateur au bureau, à la maison ou à l'usine ne s'intéresse pas, en général, au mode de rédaction du logiciel ou d'agencement des connaissances. Elle n'a pas envie d'apprendre un langage de programmation ni de passer plusieurs heures à lire attentivement un manuel d'exploitation. Il serait tentant de pouvoir poser une question directement à l'ordinateur et de recevoir une réponse en langage naturel. En fonction de la réponse reçue, l'utilisateur pourrait alors préciser ou non la question à l'ordinateur, et lui demander de plus amples renseignements, explications et prévisions.

L'objectif de l'ordinateur de dialogue (question-answering system) est de fournir un accès aisé à l'utilisateur et de mener avec lui un dialogue intelligent et productif. L'utilisateur pose ses quetions oralement ou par l'intermédiaire d'un clavier, en langage naturel, et l'ordinateur lui répond de même. Les systèmes experts gagneraient fortement à être équipés d'un dispositif de dialogue en langue naturelle. Comme le disait un des participants:

"Ce que nous voulons réaliser, c'est un système expert médical grâce auquel la mère inquiète pourrait expliquer par téléphone à l'ordinateur les symptômes de son enfant malade et en recevoir le conseil, soit de ne pas s'inquiéter, soit d'amener son enfant chez le médecin".

M. Ray Perrault a indiqué que les ordinateurs de dialogue doivent avoir des capacités qui dépassent largement la compréhension du langage naturel, tâche déjà fort difficile. Il leur faudrait interpréter le déroulement du dialogue, en comprendre le contexte, renvoyer à des réponses antérieures et traiter des questions ambiguës.

Les capacités des ordinateurs qui existent actuellement se limitent à de très simples dialogues. L'ordinateur peut, par exemple, répondre à la question ci-dessous:

"Quelle entreprise industrielle canadienne a réalisé des profits plus élevés que la moyenne en 1980?".

Mais comment interprétera-t-il la suivante?

"Qu'est-ce qu'ils* font?".

À cette étape, l'ambiguïté du mot "ils" ne peut être résolue que si l'ordinateur se souvient de la question et de la réponse précédentes et les a comprises. Le "font" est encore plus ambigu, car il peut se rapporter aux bénéfices ou aux produits.

Les ordinateurs de première génération intégraient des règles d'analyse syntaxique et contextuelle du dialogue aux logiciels élaborateurs de langage. Les ordinateurs étaient rapides et polyvalents, mais incapables de saisir les subtilités linguistiques. De plus, tout changement à la base de données nécessitait la modification du logiciel tout entier. La

---

* "They" pronom personnel pluriel utilisé communément en anglais pour représenter un organisme collectif au singulier (N.d.t.)

deuxième génération d'ordinateurs disposait de bases de données indépendantes du logiciel d'élaboration de la syntaxe. Ce progrès a permis une utilisation plus étendue du langage et fourni des réponses plus acceptables, mais le traitement nécessitait de très gros ordinateurs et beaucoup de temps machine.

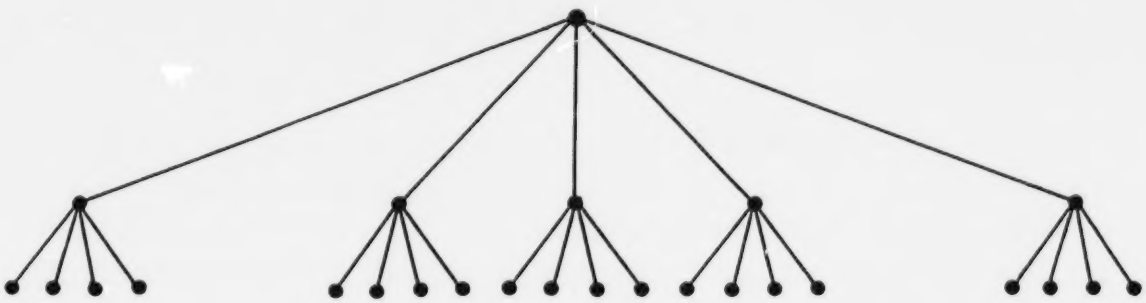
Actuellement, les ordinateurs commerciaux sont incapables d'entretenir un dialogue suivi, qui contient des ambiguïtés ou dépend d'un contexte. Toutefois, certains logiciels de recherche peuvent faire des déductions pendant le dialogue, et sont donc plus polyvalents. Il est évident que le perfectionnement de ces logiciels leur ouvrirait des débouchés commerciaux considérables.

Le professeur R. Perrault a souligné que, comme c'est le cas pour de nombreux travaux en I.A., c'est la limite du domaine d'application du système qui constitue la clé du problème. Dans un domaine bien circonscrit, les ordinateurs de dialogue sont efficaces et utiles. Mais la difficulté consiste à découvrir la meilleure délimitation possible du domaine de travail de l'ordinateur de dialogue car, même si ce domaine est très restreint, la puissance informatique nécessaire pour obtenir une réponse satisfaisante à une question complexe reste considérable. Il faudrait donc découvrir les caractéristiques des moyens les plus avantageux pour limiter le domaine de travail de l'ordinateur de dialogue.

Structures arborescentes et analyse combinatoire, en digression

Bien qu'aucun des intervenants n'ait traité particulièrement des structures arborescentes ou de la recherche décisionnelle, ces thèmes sous-tendaient bien des interventions. Les structures arborescentes et les stratégies d'exploitation des diverses ramifications d'une structure arborescente décisionnelle posent partout des problèmes dans la recherche en I.A. On peut aisément illustrer ces concepts en prenant comme exemple une partie d'échecs.

Supposons que ce soit au tour des Noirs d'avancer, à un moment de la partie. Pour évaluer le mérite d'un coup donné, le joueur envisage les réponses possibles des Blancs. Chacune de celles-ci ouvre à son tour de nouvelles possibilités aux Noirs, dont certaines renforceront leur position tandis que d'autres l'affaibliront. Le joueur des Noirs doit donc, non seulement considérer le coup immédiat, mais aussi les réponses possibles à chacun des coups qui lui seront opposés, et ainsi de suite. Les conséquences d'un seul coup peuvent donc être représentées par une structure arborescente:



Il est évident que plus le joueur des Noirs planifie la suite de ses coups à venir, plus le nombre des coups possibles auxquels il doit penser augmente. S'il prépare un coup qui pourrait se faire plus tard dans la partie, le nombre des configurations à examiner devient astronomique. Parmi toutes ces possibilités, le joueur des Noirs espère découvrir un cheminement qui lui permettra de gagner la partie. Il tient également compte des ramifications qui, si elles sont dominées par les Blancs, peuvent menacer ses pièces. L'état de la partie peut, par conséquent, être analysé en étudiant les conséquences du choix à chaque noeud et en explorant les branches tant latéralement qu'en profondeur. Enfin, le joueur choisira une stratégie précise après avoir examiné toutes les ramifications et tous les noeuds un par un.

De nombreux problèmes d'I.A. ressemblent à une partie d'échecs, car chaque décision ou action précise débouche sur une gamme de possibilités qui se répartissent comme les rameaux d'une branche. Dans certaines situations en I.A., le processus se déroule à rebours. Pour le diagnostic d'une maladie, par exemple, on commence par les rameaux (les symptômes) pour remonter à la branche (la maladie causative). Mais, quelle que soit la méthode d'exploration de la structure arborescente, les chercheurs in I.A. affrontent toujours l'accroissement géométrique des options, c'est-à-dire le nombre énorme de possibilités que l'ordinateur doit examiner à mesure qu'il passe d'un niveau à un autre d'une structure arborescente.

Ces arborescences de recherche sont très souvent employées dans les applications de l'I.A. en matière de traitement des représentations nouvelles, de reconnaissance de la parole et de résolution des problèmes. Dans tous les cas, l'ordinateur atteint ses limites lorsqu'il n'a plus le temps ou la capacité de mémoire nécessaire pour explorer de nouvelles branches. On peut se faire une idée de l'énormité de cette tâche en reprenant l'exemple du jeu d'échecs. Si l'ordinateur le plus rapide du monde devait calculer toutes les configurations possibles d'une partie d'échecs de cinquante coups, il lui faudrait plus de temps qu'il ne s'est écoulé depuis la création de l'univers!

Les joueurs humains ne se laissent pas prendre à la croissance géométrique des options, et pourtant ils sont capables de jouer de longues parties d'échecs et de résoudre des problèmes complexes. En effet, il leur est possible de tirer profit de leur expérience, de prévoir certaines configurations d'ensemble, d'adapter leur stratégie à la situation réelle, et ainsi de suite. Aux échecs, le joueur humain apprend à concentrer son attention sur le centre de l'échiquier, à découvrir la stratégie générale de l'adversaire, et à mémoriser une série particulière de coups grâce à des artifices mnémotechniques.

Les chercheurs en I.A. s'efforcent de parer à la croissance géométrique des options par des moyens empiriques, en élaborant et en vérifiant des

solutions préliminaires, en subdivisant un problème en divers aspects et en explorant la structure arborescente à partir du haut et du bas. De plus, certains préconisent une nouvelle approche en programmation, soit le traitement parallèle par l'exploration simultanée de plusieurs branches.

C'est l'exploration des ramifications d'une structure arborescente qui constitue l'un des principaux obstacles aux progrès de nombreux aspects de l'I.A. Les chercheurs ont maintenant conscience qu'une percée ne sera faite en I.A. que lorsque l'ordinateur aura une connaissance propre de la tâche à accomplir et pourra explorer la structure arborescente de façon intelligente.

Conclusions

Les débats de l'Atelier ont bien montré que les systèmes experts et la représentation des connaissances constituaient des domaines particulièrement actifs et prometteurs. Plusieurs systèmes experts ont déjà été mis sur le marché et suscitent un intérêt considérable dans le monde des affaires. Il semble évident que, dès que de nouveaux systèmes experts auront été mis au point, ils seront facilement commercialisés.

Plusieurs des participants ont estimé que la conception de systèmes experts constitue un domaine d'avenir pour le Canada, surtout en matière de gestion des ressources. La mise au point d'un nouveau logiciel n'exige pas un grand nombre d'experts en I.A. ni un investissement considérable. Le Canada possède les connaissances et l'expérience nécessaires à la conception et à la réalisation de tels systèmes, qui pourraient être lancés sur le marché international avec de bonnes chances de succès.

II^{e} THÈME - LE LANGAGE NATUREL ET LA TRADUCTION AUTOMATIQUE

La compréhension du langage naturel par l'ordinateur est d'une importance évidente pour les applications en I.A. L'utilisation des ordinateurs de dialogue dépend de leur aptitude à comprendre et à composer des phrases en langage naturel. La synthèse vocale et la reconnaissance de la parole reposent également sur l'aptitude de l'ordinateur à traiter et à comprendre le langage naturel. Quant à la traduction automatique, elle est une application d'intérêt particulier pour le Canada.

La traduction est une activité coûteuse, exigeant beaucoup de main-d'oeuvre et, dans un pays bilingue comme le Canada, elle cause des frais importants qui s'ajoutent aux frais généraux de nombreux projets. La mise au point de la traduction automatique serait, par conséquent, de grande importance pour le pays.

Les premières tentatives de traduction automatique étaient maladroites, et elles produisaient des textes souvent ineptes. L'exemple suivant est souvent cité. Quand on traduisait de l'anglais en russe, la phrase: "L'esprit est fort, mais la chair est faible", et qu'on retraduisait le résultat en anglais, on obtenait: "La vodka est forte, mais la viande est avariée". La traduction pose de nombreux problèmes complexes et l'exemple mentionné ci-dessus illustre l'un des plus sérieux, c'est-à-dire celui de la polysémie. En effet, la plupart des mots ont plusieurs sens comme, c'est le cas d'"esprit". Le Petit Robert en donne dix-sept et quantité d'exemples pour montrer les nuances subtiles que ce mot peut acquérir.

Parfois, le sens d'un mot dans une phrase est évident; d'autres fois, on ne peut le trouver que grâce à une bonne connaissance de son contexte ou même de données sans rapport avec le texte, par exemple une connaissance générale du monde réel et de la façon dont les gens agissent. De telles considérations deviennent extrêmement importantes en traduction automatique.

MM. Pierre Isabelle et Laurent Bourbeau ont décrit la méthode suivie par le groupe TAUM de Montréal et les diverses tentatives qui ont été faites pour améliorer le processus de traduction automatique. Au cours des années 1970, les recherches ont été influencées par les théories de Noam Chomsky qui croyait à l'existence de "structures linguistiques profondes" dans le cerveau. Selon ce linguiste, le langage s'acquiert par un processus indépendant transmis dans l'héritage génétique. Le langage appris dans l'enfance est associé à cette structure linguistique profonde de sorte que la parole, la lecture et l'écriture deviennent possibles.

En se fondant sur les théories de N. Chomsky, les chercheurs en I.A. ont estimé qu'une structure indépendante du langage appris, ou "interlingua", pourrait être utilisée comme base de la traduction automatique. Les phrases d'une langue naturelle seraient transformées en formes symboliques d'"interlingua" et, de là, dans la langue cible. Dans la pratique toutefois, un tel programme de traduction automatique s'est révélé particulièrement difficile à exécuter, et le groupe TAUM a dû changer d'optique.

Ce groupe, qui était composé de linguistes, de traducteurs et d'informaticiens, avait été créé en 1965 dans le but de mettre au point un système pratique de traduction automatique de l'anglais au français. Il choisit ultérieurement une approche fondée sur des "langues pivots", c'est-à-dire une forme modifiée de structure linguistique profonde. Chaque phrase anglaise est d'abord analysée sur le plan de la syntaxe, de la sémiotique et de la sémantique, puis traduite en "anglais pivot". Cette étape intermédiaire a pour effet de mettre en évidence la totalité de la structure linguistique de la phrase anglaise. À l'aide d'un dictionnaire interne et de règles de transformation, la phrase en "anglais pivot" est ensuite

convertie en "français pivot". Enfin, le programme TAUM traduit la phrase du "français pivot" en français naturel.

Le programme TAUM n'étant pas assez général pour traduire des livres ou des journaux, le groupe décida de l'appliquer à ce que l'on a appelé des langages de spécialité, c'est-à-dire à des textes, comme les manuels techniques ou les "langages de commande", où la syntaxe est très simple et le vocabulaire limité. Une des premières applications du programme TAUM a été la traduction des rapports météorologiques. TAUM-MÉTÉO traduit quelque 2,5 millions de mots chaque année, et 20 pour cent des phrases seulement nécessite une révision. Ce succès a été suivi par TAUM-AVIATION pour la traduction des manuels d'entretien.

Un des avantages du système TAUM est de disposer d'un logiciel indépendant de ses grammaires et dictionnaires internes. Il est donc possible d'utiliser le système TAUM pour différents langages techniques, ou même pour des langues autres que le français et l'anglais, sans qu'il soit nécessaire de modifier l'ensemble du système.

Le coût du mot traduit par le programme TAUM n'atteint que 8,3 ¢ au lieu de 14,5 ¢ pour le mot traduit par un humain. Toutefois, comme tous les textes devaient être révisés, le coût total du mot de traduction automatique s'élèverait à 18,3 ¢. L'expérience ne s'étant donc pas révélée rentable, le projet TAUM a été abandonné par le Secrétariat d'État en septembre 1981.

De nombreux participants à l'Atelier ont regretté le démantèlement de l'équipe de traduction automatique TAUM. Toutefois, un des représentants du Secrétariat d'État a annoncé que cet organisme allait financer une étude sur la faisabilité de la traduction automatique.

M. James Mackie, de la société MITEL, a souligné l'utilité de la traduction automatique des textes spécialisés. Son entreprise utilise un logiciel commercialisé pour traduire en différentes langues sa documenta-

tion relative aux télécommunications. Le texte original est rédigé en anglais simple et clair, avec une syntaxe et un vocabulaire restreints. Quand le texte est rédigé en tenant compte des limitations du logiciel de traduction, celui-ci est capable d'en donner une version acceptable à un prix modéré.

III^{e} THÈME - VISION ET PAROLE

Les domaines des systèmes experts, de la représentation de la connaissance et de la compréhension des langages naturels appartiennent en quelque sorte au volet "intellectuel" de l'ordinateur. Mais celui-ci doit également être muni de sens et d'une aptitude à recueillir des données sur son environnement, et à utiliser cette information pour agir. Comme l'un des participants a déclaré:

> "Au cours des débats, nous avons mis l'accent sur la pensée artificielle; pourtant, une grande partie des recherches actuelles en I.A. concerne le recueil de l'information sur le monde extérieur et son traitement ultérieur".

Les interactions des premiers ordinateurs avec le monde réel passaient par le truchement des cartes perforées, des bandes perforées et magnétiques, des disques, des mémoires à tambour, des claviers et des imprimantes. Actuellement, les ordinateurs disposent d'une vision rudimentaire, comprennent un langage simple, détectent la position des objets environnants à l'aide des palpeurs d'un robot et communiquent avec les humains par l'intermédiaire d'écrans cathodiques et de sorties d'imprimante. Les participants à l'Atelier se sont surtout intéressés au traitement des données sensorielles et au décodage du langage parlé.

La vision artificielle

Presque tout ce que nous savons sur le monde extérieur est capté par nos yeux. C'est pourquoi il est naturel que les chercheurs en I.A. s'efforcent de conférer le sens de la vision à l'ordinateur. Il apparaît toutefois

qu'il s'agit là d'une des tâches les plus difficiles de tout le domaine de l'I.A.

Certaines des premières expériences en vision artificielle ont été menées de 1969 à 1971 dans les laboratoires S.R.I. de Californie. Grâce à des caméras de télévision, les dispositifs SHAKEY I et II étaient capables de trouver leur chemin dans une série de pièces communiquantes remplies d'obstacles.

Mais à mesure que les chercheurs s'efforçaient de développer les capacités de vision artificielle, des problèmes d'une complexité étonnante surgissaient. Notre propre vision fonctionne si bien que nous ne sommes jamais conscients des processus compliqués qu'elle nécessite. Nous pouvons parcourir des yeux un paysage et, instantanément, y repérer le bond subit d'un lièvre. Nous pouvons marcher au milieu d'une foule grouillante et reconnaître le visage d'un ami que nous n'avons pas vu depuis une dizaine d'années. Nous pouvons descendre un escalier en courant et remarquer sur le mur une tache qui n'y était pas le jour précédent. Selon un des participants:

> "Notre appareil visuel est véritablement étonnant, mais il résulte d'une évolution par sélection au cours d'un milliard d'années. C'est cette durée immense qui a été nécessaire pour élaborer des yeux, des nerfs optiques et un cortex visuel précisément conçus pour assurer notre survie".

Il n'existe pas la moindre théorie générale de la vision et, comparé à l'appareil visuel d'un être humain, le dispositif SHAKEY et ceux qui ont suivi apparaissent particulièrement rudimentaires. Les chercheurs contemporains ont délaissé la vision artificielle pour s'attaquer à des problèmes plus restreints et aux dispositifs de vision qui peuvent fonctionner dans des environnements circonscrits et sans surprise (structured). Leurs recherches portent sur le traitement et la reconstitution des images, l'inspection visuelle et une multitude d'autres spécialisations.

Les succès les plus remarquables obtenus en vision artificielle ont été obtenus dans des domaines où la vision humaine n'a pas de capacité particulière: accentuation, correction, reconstitution et compression des images, et tomographie. Dans ces domaines, "l'oeil" de l'ordinateur ne tente pas d'analyser ou de comprendre une photographie, mais la considère comme un ensemble de données numériques à traiter. Les ordinateurs peuvent supprimer les défauts d'une photographie, corriger des valeurs chromatiques et, en général, améliorer l'image bidimensionnelle.

Le traitement des images prises par les sondes spatiales, les satellites de télédétection des ressources terrestres et les appareils médicaux est devenu une opération courante; le traitement des images permet également de produire des effets spéciaux dans les films magnétoscopiques. La tomographie informatique aide le diagnostic médical grâce à la représentation tridimensionnelle du corps tirée d'une série d'images bidimensionnelles. La compression des images permet le stockage d'un plus grand nombre d'images informatiques dans une mémoire d'ordinateur, ou leur transmission sur bande étroite.

Les dispositifs informatiques permettent également la reconnaissance des formes lorsqu'un nombre limité de formes simples sont réparties sur un fond uniforme. Ses applications comprennent la lecture des codes à bâtonnets imprimés sur les emballages de marchandises, le comptage des particules, l'inspection des circuits électroniques et la numération des hématies. L'ordinateur est rapide, efficace et infatigable. Le dispositif de vision artificielle permet aussi de mesurer directement et avec précision les dimensions des objets de forme simple, capacité que l'oeil humain ne possède pas.

Bien que l'ordinateur soit capable d'améliorer une photographie floue, il ne peut habituellement pas trouver et identifier un solide, même le plus général, représenté sur une surface bidimensionnelle. Ce n'est que dans des cas spéciaux, comme celui des photographies de la surface terrestre

prises d'une certaine hauteur, que les dispositifs à vision artificielle offrent actuellement un intérêt commercial.

Les humains savent analyser les photographies parce qu'ils possèdent une connaissance générale de l'apparence des choses dans le monde extérieur tridimensionnel. Ils sont également capables d'analyser une image plate parce qu'ils comprennent l'action de paramètres tels que l'échelle et la distance; ils savent à quoi sont dues les ombres et ils associent certaines structures de l'image à l'herbe, à l'eau et au rocher; ils reconnaissent un objet présenté sous divers angles et ils savent comment les solides sont représentés sur une surface bidimensionnelle par l'appareil de photographie.

L'ordinateur ne peut commencer à analyser une photographie que quand on lui donne des renseignements additionnels sur les paramètres physiques. Les dispositifs à vision artificielle jouent surtout le rôle d'assistants de l'expert humain. MM. T. Kasvand, du Conseil national de recherches, et A.G. Fabbri, de la Commission géologique du Canada, ont mis au point le système GIAPP dont les capacités de traitement des images aident les géologues à repérer et à comparer des détails sur une série de cartes.

Le professeur Allan Mackworth, de l'Université de la Colombie-Britannique, a décrit les recherches de son équipe sur l'interprétation des images recueillies par les satellites. L'ordinateur n'est capable d'analyser l'image que si on lui a fourni des données sur l'éclairement solaire, la couverture végétale et l'orientation de la surface du sol. Un autre programme expérimental, le MAPEEZE, est capable de reconstituer le paysage couvert par une photographie aérienne. Si l'opérateur humain fournit à l'ordinateur une carte sommaire des routes, des ponts, des rivières et des montagnes de la région, MAPEEZE utilise ces données pour produire une carte couleur complète à partir de la photographie.

Lorsqu'il s'agit de la vision générale de scènes complètes en trois dimensions, l'ordinateur est encore plus limité. Un des objectifs de l'I.A. est la réalisation d'un robot industriel dont les capteurs visuels pour-

raient être utilisés pour l'inspection, la commande générale et l'orientation des bras prénensiles. Pour l'instant, de tels robots ne fonctionnent de façon satisfaisante que dans des environnements bien agencés, où il n'existe qu'un nombre limité d'objets différents soigneusement disposés et éclairés. Le simple marquage d'un objet par une tache de peinture augmente considérablement la capacité de vision d'un robot. Un des participants s'est porté à la défense de la vision limitée des robots:

> "Il ne faut pas oublier que les milieux de travail ont été agencés en fonction des besoins humains, et non de ceux des robots. Ce qui nous semble commode et simple est déroutant et compliqué pour ceux-ci. L'efficacité des robots se révèle optimale dans un environnement standardisé que les humains trouvent ennuyant, mécanique et répétitif".

Le professeur Mackworth estime que la recherche canadienne en vision artificielle est de grande qualité mais que, sans appui additionnel, les chercheurs risquent de prendre rapidement du retard par rapport à l'étranger. On pourrait par exemple axer les efforts sur la gravure de microcircuits de haute qualité pour la vision artificielle sur des plaquettes de silicium, ce qui accélérerait leur rapidité de fonctionnement et réduirait leur coût de fabrication.

Alors que l'avenir de certaines applications de l'I.A., comme la traduction automatique, dépendra de leur rentabilité supérieure à celle des hommes, ce n'est pas nécessairement le cas pour les dispositifs à vision artificielle. Un des domaines prometteurs est celui des capteurs visuels équipant les robots travaillant dans l'espace, les fonds océaniques, les réacteurs nucléaires, les usines de produits chimiques et autres milieux hostiles.

Reconnaissance et synthèse de la parole

La possibilité de communiquer en langage naturel avec un ordinateur offre des avantages certains. Les ordinateurs qui peuvent dialoguer oralement avec leurs utilisateurs auront une foule d'applications allant des ordinateurs de dialogue améliorés pour aider les handicapés aux machines comman-

dées par la voix. Mais, comme pour d'autres domaines de l'I.A., le développement de la parole informatique dépend aussi de la mise au point d'une représentation électronique des caractéristiques du monde réel.

M. M.L. Blostein a décrit les travaux du Groupe de recherche sur la communication orale de l'I.N.R.S. - Bell Northern Research après avoir présenté un enregistrement de message oral produit par ordinateur. La synthèse véritable de la parole nécessite la traduction d'un texte en signaux acoustiques. La parole synthétique est déjà intelligible bien que, dans le cas des dispositifs à microprocesseurs, il faille leur apporter des améliorations considérables, surtout pour les longues phrases. Une autre approche consiste à créer la parole à partir d'éléments enregistrés préalablement puis comprimés électroniquement, mais cette transformation nécessite toute la capacité d'un microcircuit intégré.

Pour produire une phrase artificielle de bonne qualité, l'ordinateur doit pouvoir analyser chaque phrase et appliquer des règles de modulation, de séparation et d'intonation, et il lui faut aussi tenir compte des caractéristiques vocales du locuteur. Le développement de la parole artificielle dépend d'une meilleure compréhension du mécanisme de la parole chez l'être humain.

Le problème est encore plus complexe en matière de reconnaissance automatique du langage parlé. Actuellement, un microcircuit intégré a la capacité de reconnaître un vocabulaire restreint de mots isolés, prononcés par un locuteur spécialement formé. Pour traiter un message verbal bien articulé, prononcé correctement, il faut utiliser une série de plaquettes de microcircuits et, même de cette façon, le vocabulaire doit être considérablement limité et la syntaxe simplifiée. Pour l'instant, l'ordinateur est incapable d'entretenir un dialogue normal suivi avec des locuteurs non entraînés. Il est d'ailleurs difficile de prévoir à quel moment de l'avenir il sera possible de le faire. Certains logiciels fonctionnent bien en laboratoire en tant que dispositifs expérimentaux mais, dès qu'ils sont

utilisés en situation réelle, ils se révèlent beaucoup moins attrayants. Comme disait l'un des participants:

> "Il n'est pas simple de parler à ces ordinateurs. Nous ne savons pas comment entraîner les locuteurs à n'utiliser qu'un vocabulaire limité et une syntaxe simplifiée. Il est possible que ce soient les langages de commande qui constituent le domaine actuel d'exploration le plus prometteur".

Les logiciels de reconnaissance de la parole fonctionnent par comparaison des sons captés avec des courbes acoustiques produites dans l'ordinateur. Si les deux configurations se recouvrent, l'ordinateur reconnaît le mot ou la phrase. Au cours du processus, l'ordinateur doit constamment prévoir ce qui va se dire, compte tenu du contexte global et du début du dialogue. Par conséquent, l'ordinateur élabore sans cesse des phrases hypothétiques basées sur les règles du langage naturel et une certaine connaissance générale du sujet.

L'amélioration des logiciels de reconnaissance de la parole dépend de la représentation des connaissances, des stratégies d'élaboration des hypothèses les plus plausibles, de la recherche de celle qui est applicable, de la comparaison des courbes acoustiques, etc. Par ailleurs, il est indispensable de mieux comprendre l'élaboration de la parole chez l'homme.

M. de Mori, de l'Université Concordia, a décrit ses travaux sur la reconnaissance des messages verbaux continus par l'ordinateur. Sa technique se fonde sur l'emploi de microcircuits intégrés pour mettre en évidence les analogies acoustiques et élaborer des hypothèses syllabiques et lexicales. Le programme traite les diverses tâches élémentaires en parallèle.

M. Blostein a fait remarquer qu'une recherche valable en ce domaine ne pouvait être entreprise que par un organisme disposant d'un centre informatique considérable. Il a proposé de concrétiser immédiatement les logiciels exploitables sur microcircuits. Les petites groupes de recherches pourraient se servir de logiciels peu coûteux de reconnaissance de la

parole, qu'on pourrait aussi utiliser en situation réelle, à la maison et au bureau. Les résultats de ces essais et les évaluations en laboratoire permettraient de perfectionner les logiciels.

On espère qu'un bon logiciel de reconnaissance de la parole fonctionnera d'ici cinq à dix ans. Pour l'instant, les logiciels commercialisés sont utilisés dans des situations bien circonscrites et traitent des vocabulaires et des syntaxes extrêmement simples. Un domaine d'application évident est celui "des langages de commande" des machines, utilisant une série d'ordres verbaux limités. Même si la machine à écrire commandée par la parole n'est pas pour demain, on pourrait dès maintenant entreprendre des recherches sur l'attitude du public en matière de dialogue avec les ordinateurs.

IV^{e} THÈME - APPLICATIONS ET RÉPERCUSSIONS

Le bureau de l'avenir

De nombreux articles traitent du bureau de l'avenir et de la transformation de ce milieu de travail par la technologie nouvelle. Jusqu'à maintenant, ce sont les machines de traitement de texte qui ont eu les effets les plus marqués; dans un avenir proche, ces "scribes" auront une influence encore plus considérable, car ils seront dotés d'un potentiel de décision, traceront des graphiques et autres documents, et auront directement accès aux services de courrier électronique.

M. Tom Carey, de l'Université de Guelph, est d'avis qu'il faut exécuter sans retard un effort de R-D sur les interactions entre utilisateurs et équipement. Le matériel de bureau de l'avenir utilisera le langage naturel, la reconnaissance de la parole et la communication polyvalente (par celle-ci, l'utilisateur fournit plusieurs indications à l'ordinateur; sa communication gestuelle peut être communiquée au moyen d'un gyroscope fixé à son bras).

L'utilisateur non spécialisé de matériel de bureautique préfère s'informer sans trop d'efforts sur son maniement. À la place d'instructions complexes et d'un mode d'emploi volumineux, il devrait pouvoir se servir, au rythme qui lui convient, du matériel de bureautique lui-même. Celui-ci devrait proposer aide et directives plutôt que d'afficher l'erreur commise, car l'utilisateur désemparé n'est guère encouragé par l'absence d'explication.

Personne ne sait encore comment la bureautique modifiera le bureau de l'avenir. On croyait, lorsque les machines de traitement de texte ont été mises sur le marché, qu'elles serviraient surtout à économiser du temps. En fait, elles ont plutôt permis aux auteurs de fournir un manuscrit de bien meilleure qualité. Ces machines offriront peut-être les services d'un rédacteur expert à toutes les sections d'un bureau, mais on ne sait pas s'il en résultera une réduction ou une augmentation du nombre des emplois.

Cette lacune provient notamment d'une connaissance insuffisante du fonctionnement des bureaux. En principe, l'organigramme indique la hiérarchie du commandement, mais il existe une infrastructure officieuse, plus difficile à percevoir, qui transparaît, par exemple, au cours de la pause-café. Les interactions entre les nouvelles machines de bureau, la structure officielle et aussi cette structure officieuse seront d'importance cruciale.

Planification à long terme et prise de décision

Les scientifiques ont jusqu'ici utilisé les ordinateurs pour résoudre des problèmes formulés rigoureusement. Si ces ordinateurs étaient dotés d'I.A., ils pourraient exécuter des tâches plus complexes comme la prise de décision, les jugements de valeur et la planification à long terme.

Pour choisir une ligne de conduite officielle, l'expert humain prend en considération le comportement potentiel du monde matériel (ressources, facteurs économiques, environnement, etc.), de même que les divers objectifs et valeurs propres à la société considérée. Ce processus exige une connaissance précise des interactions complexes qui, par exemple, existent entre le marché, l'économie en général, l'agriculture, l'extraction des minerais, la fabrication des produits et l'emploi. De plus, l'expert est sensible aux préférences collectives en matière de mode de vie. Par conséquent, ce décideur doit tenir compte des croyances et des objectifs des administrés, ainsi que des conséquences possibles de la décision considérée. Il serait donc extrêmement important que ce genre de travail soit exécuté en totalité ou en partie par un ordinateur.

M. George Strobel, de l'Université de Montréal, a décrit les divers modes d'utilisation des ordinateurs intelligents dans la prise de décision et la planification à long terme. On peut, par exemple, s'en servir comme outil expérimental d'analyse des conséquences d'une décision donnée. Les économistes et les systémiciens ont élaboré des modèles dynamiques de l'évolution de systèmes interactifs complexes comme l'environnement et l'économie. Ces modèles mathématiques sont formés d'ensembles d'équations différentielles associées, de conditions initiales, de paramètres ajustables, etc.

En introduisant des modèles dynamiques dans l'ordinateur, l'expert humain peut expérimenter les résultats et les conséquences à long terme de différents scénarios, décisions de fond et tendances mondiales. Dans ce cas, l'ordinateur contribue à la prise de décision en explorant un certain nombre de politiques de rechange par tâtonnements successifs. Cependant, ce sont encore des experts humains qui en évaluent les avantages pour la société et les inconvénients pour le milieu ambiant.

Une autre forme plus avancée de planification informatique utilise, outre les modèles dynamiques de l'économie et de l'environnement, ceux de la prise de décision elle-même. Dans le cadre du programme GRIPS de l'Université de Montréal, on fournit à l'ordinateur des données sur l'importance relative des besoins, des valeurs et des objectifs, de même que divers paramètres comme l'indice de pollution, l'espérance de vie, la probabilité d'une guerre, etc. L'ordinateur évalue les résultats du scénario envisagé en associant ces données à un modèle de l'environnement et de l'économie.

Le programme GRIPS permet, par conséquent, une modélisation complète de la prise de décision évoquant des questions complexes. L'ordinateur quantifie les conséquences économiques et écologiques d'une politique donnée, analyse les divers indicateurs de qualité de vie de ce scénario et fournit une évaluation globale du résultat. Le programme GRIPS est également équipé d'une "programmation automatique"; il accepte les données d'entrée

imprécises et il affiche les résultats de son analyse et de sa planification sous forme de graphiques et de tableaux.

L'ordre du jour n'a laissé que peu de temps à l'analyse des effets lointains de l'utilisation de logiciels comme le GRIPS; cependant, la possibilité d'évaluer des lignes d'action, de prendre des décisions et de planifier à long terme grâce à l'ordinateur est de grand intérêt pour les chefs d'industrie et les autorités publiques.

ÉQUIPEMENT ET THÉORIE

Le matériel informatique

La plupart des débats de l'Atelier ont porté sur les tâches pratiques que les dispositifs d'I.A. doivent exécuter et sur les logiciels qu'il faudra mettre au point. L'exposé du professeur T. Pietrzykowski, de l'Université Acadia, qui traitait des problèmes de la conception et de la construction des ordinateurs, a donc constitué une diversion bienvenue. On demande aux dispositifs d'I.A. actuels de comparer des configurations, d'explorer systématiquement des structures arborescentes, d'effectuer des calculs numériques spécialisés et de consulter leur mémoire, outre le traitement de diverses données en simultanéité. Et cependant, on construit les ordinateurs actuels selon les mêmes principes que leurs prédécesseurs des années 1940 et 1950.

Le modèle originel de Von Neuman exigeait une commande et une circulation des données centralisées, ce qui ne convient nullement aux travaux en I.A. Il existe donc de bonnes raisons de modifier radicalement la structure de l'ordinateur. L'unité de traitement, par exemple, qui était l'élément le plus onéreux de l'ordinateur, coûte aujourd'hui, dans certaines machines, environ le dixième du coût d'une unité de mémoire. Les ordinateurs de conception nouvelle pourraient utiliser des dizaines ou des centaines d'unités de traitement pour diriger et commander la circulation des données dans les divers éléments de la machine. Certains d'entre eux pourraient être réservés à des opérations spéciales ou câblés pour la

perception visuelle et l'analyse de la parole; les mémoires intelligentes pourraient orienter le flux des données et certains modules serviraient à la communication avec l'utilisateur.

Le Canada dispose des spécialistes nécessaires pour mener à bien ce remaniement radical de la structure des ordinateurs. T. Pietrzykowski estime qu'on pourrait confier cette tâche à de petites équipes de chercheurs, et qu'elle n'exigerait pas d'énormes subventions. Plutôt que de concevoir un ordinateur universel de cinquième génération, ces équipes devraient axer leurs recherches sur la construction d'un ordinateur intelligent destiné à des tâches bien circonscrites de robotique, de perception visuelle, de reconnaissance de la parole, de base frontale de données ou de système expert.

Un constructeur d'ordinateurs qui participait à l'Atelier a reconnu que la conception et la construction d'une telle machine étaient tout à fait réalisables par les spécialistes canadiens en I.A. Cet ordinateur permettrait au Canada de devancer la technologie informatique classique et de se ménager un créneau parmi les constructeurs de la prochaine génération d'ordinateurs.

Rôle de la théorie

L'exposé de M. Ray Reiter, de l'Université de la Colombie-Britannique, au sujet du rôle de la théorie dans les travaux en I.A., a complété celui du professeur T. Pietrzykowski sur le matériel informatique. La théorie de l'I.A. a connu récemment un regain de vigueur dans les domaines de la programmation logique, des systèmes experts, de la métathéorie, des nouvelles formes de raisonnement et des bases de données intelligentes. En métathéorie, les chercheurs orientent leurs travaux sur "la connaissance de la connaissance" ou la commande intelligente des processus internes de l'ordinateur. Celui-ci doit également traiter une information incomplète et des ensembles de croyances. On a également entrepris des travaux théoriques considérables sur le développement de langages à base logique

qui serviront à représenter la connaissance du monde extérieur et à faire des déductions à partir de cette connaissance.

M. R. Reiter a souligné que ces études théoriques portent sur des problèmes philosophiques fondamentaux qui préoccupent les penseurs depuis deux mille ans. Il ne croit pas que des questions comme "le sens de la signification ou de la croyance" pourraient être résolues dans un avenir immédiat. À ce sujet, peut-être est-il bon de rappeler ce qu'avait déclaré John McCarthy, un des fondateurs de l'I.A.:

> "La véritable intelligence artificielle verra le jour d'ici quatre ans, ou quatre siècles".

RÉCAPITULATION

Les exposés et les débats de l'Atelier d'Ottawa ont clairement montré que le Canada dispose de chercheurs dans chaque domaine important de l'I.A. (La robotique n'était pas à l'ordre du jour, mais le Conseil national de recherches réunit une équipe dynamique pour étudier ce sujet et les applications de l'I.A. dans les techniques de fabrication. Des entreprises canadiennes comme SPAR Aerospace, qui a réalisé le télémanipulateur de la navette spatiale Columbia, s'occupent de développer le potentiel d'ingénierie mécanique indispensable).

Bien que les spécialistes canadiens n'aient pas encore mis sur pied de système expert, ils ont acquis tout le savoir-faire nécessaire pour concevoir et élaborer un logiciel commercialisable. La traduction automatique est un autre domaine au sujet duquel toutes les conditions nécessaires sont réunies au Canada, soit la compétence, les débouchés et l'intérêt national. Des progrès considérables ont également été réalisés dans les domaines de la planification à long terme et de la prise de décision à l'aide d'ordinateurs intelligents. Les logiciels ont peut-être atteint un stade de perfectionnement où ils peuvent déjà être très utiles aux décideurs et aux planificateurs.

Les secteurs techniquement complexes de la vision artificielle informatique et de la reconnaissance de la parole ont aussi d'excellents spécialistes au Canada. Bien qu'on ne sache pas quand il sera possible de résoudre de nombreux problèmes, bien des applications importantes peuvent être mises au point entre temps. La vision artificielle informatique et le

traitement des images sont déjà utilisés dans les sciences, en médecine et dans l'industrie, et on devrait trouver d'autres applications dans les années qui viennent.

Pour ce qui est de l'aspect théorique de l'I.A., les spécialistes canadiens continuent d'explorer certains de ses problèmes fondamentaux. La portée des questions envisagées déborde le cadre d'une discipline unique comme l'I.A., et évoque des questions philosophiques fondamentales. Il se peut fort bien qu'en raison de leur nature même ces problèmes ne soient pas résolubles, mais qu'on continue à clarifier leur formulation au fil des siècles. Ce cheminement constitue un aspect précieux du patrimoine intellectuel de l'humanité, et peut stimuler les travaux de recherches dans des domaines plus pragmatiques.

Les participants ont accordé aussi quelque attention aux problèmes de conception des ordinateurs et de fabrication du matériel. L'industrie canadienne de la microélectronique développe rapidement son potentiel technique et pourrait, avec l'aide nécessaire, entreprendre la construction d'ordinateurs intelligents. Il y a suffisamment de place pour la concurrence et l'innovation dans ce secteur, et la meilleure stratégie consisterait à concevoir des dispositifs électroniques intelligents dans des domaines d'application bien circonscrits.

III. UNE POLITIQUE EN MATIÈRE D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

LES PROBLÈMES

Quel rôle les autorités publiques devraient-elles jouer en faveur de la recherche en I.A.?
Le Canada devrait-il construire un centre de recherches en I.A.?
Quels sont les secteurs prioritaires de R-D en I.A.?
Quand les applications de l'I.A. seront-elles commercialisées?

Voilà le genre de questions qui ont été débattues lors des tables rondes, des périodes de questions et des pauses-café, au cours des deux jours de l'Atelier. Bien que les participants fussent presque tous d'avis que l'I.A. constituait un domaine important et prometteur, ils s'exprimaient moins explicitement au sujet des lignes d'action et des stratégies à suivre. Certaines équipes réalisent actuellement des recherches de qualité, mais il faut accroître le soutien financier qui leur est consenti, sinon le Canada traînera loin derrière le Japon, l'Europe et les États-Unis.

Le financement de la recherche

Au cours de la première journée de l'Atelier, un haut fonctionnaire a animé le débat sur le rôle que l'État pourrait jouer en faveur de la recherche en I.A. Il a souligné que le programme de subventions du CRSNG constituait l'un des meilleurs stimulants de cette recherche. Elles sont allouées pour soutenir la recherche à long terme et le perfectionnement du personnel, et pourraient avoir un effet considérable sur les recherches en I.A.

Si les applications sont très prometteuses pour la collectivité, l'État peut également financer la recherche par le biais de subventions spéciales.

Certains ministères peuvent même consentir une assistance directe si les applications entrent dans le cadre de leur mandat particulier. Ainsi le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources subventionne les travaux sur la télédétection des ressources naturelles; le Conseil national de recherches s'intéresse aux applications industrielles de la robotique et de la vision artificielle; le Secrétariat d'État financera peut-être à nouveau la recherche en traduction automatique et le ministère des Communications participe depuis longtemps au développement des techniques de télécommunications et à la mise au point de l'équipement de bureautique. Ces ministères financent des équipes de recherches ou entreprennent eux-mêmes des travaux de R-D.

Les participants à l'Atelier ont été invités à donner leur avis sur la nature du rôle que devrait jouer l'État. Devrait-il prendre l'initiative d'actions particulières et lancer des recherches actives, ou devrait-il agir comme coordonnateur et agent de liaison entre les divers groupes intéressés? Au cours de la discussion animée qui a suivi, les chercheurs universitaires ont indiqué clairement que le soutien du CRSNG répond mal à leurs besoins. Ils ont déclaré qu'il serait nécessaire d'améliorer rapidement les mécanismes de financement pour que l'I.A. se développe largement au Canada.

On a proposé plusieurs hypothèses pour expliquer l'insuffisance du soutien accordé par le CRSNG. Pour commencer, l'I.A. constitue un domaine nouveau et mal circonscrit qui intéresse des chercheurs en informatique, en ingénierie, en mathématiques, en physique, en psychologie et en linguistique. Il arrive souvent qu'une demande de subvention ne soit pas adressée à l'organisme compétent, ou qu'elle soit étudiée par un comité ayant peu d'affinités pour l'I.A. Il semble, en outre, qu'aucun chercheur en I.A. ne siège à un comité du CRSNG et qu'aucun de ses comités ne soit particulièrement bien disposé envers l'I.A.

Par ailleurs, la recherche en I.A. se fait normalement en équipe, et il est possible que le CRSNG ne considère pas les équipes de recherches d'un

oeil favorable. Enfin, les subventions du CRSNG financent la recherche à long terme et certains responsables doutent que la plupart des réalisations d'I.A. procurent des avantages à longue échéance. Certains participants ont soutenu avec insistance que le CRSNG devrait faire un effort pour mieux comprendre la nature, l'importance et l'avenir de la recherche en I.A. Les chercheurs devraient faire des pressions auprès des membres du CRSNG; des spécialistes de l'I.A. devraient siéger au sein des comités du CRSNG et il serait même souhaitable qu'un de ceux-ci s'occupe particulièrement de ce domaine, et le déclare prioritaire.

L'Administration publique: chef de file ou conseillère?

Un haut fonctionnaire a demandé si l'Administration fédérale devrait agir comme chef de file de la recherche en I.A., ou plutôt comme conseillère ou coordonnatrice des activités. De nombreux participants pensent que les autorités publiques devraient s'efforcer de stimuler la R-D pertinente. Ils ont fait remarquer que le Japon allait dépenser 48 M$ entre 1982 et 1984 pour financer le programme national de construction d'un ordinateur de cinquième génération (c'est-à-dire un ordinateur intelligent), et avait envisagé de consacrer de 120 à 200 M$ à la poursuite de ce programme de 1985 à 1988. La réaction du Royaume-Uni à cette annonce a été rapide, et s'est traduite par la mise sur pied d'un programme d'informatique de pointe dont le budget total des cinq prochaines années s'élève à plus de 600 M$. Les États-Unis continuent de financer les activités de plusieurs grands laboratoires de recherches en I.A. dans les secteurs industriel et universitaire. Par comparaison, les autorités canadiennes ne semblent pas avoir fait grand-chose.

De nombreux participants ont soutenu avec vigueur que le gouvernement canadien devrait être sensibilisé à l'importance de financer les recherches en I.A. avant qu'il ne soit trop tard. L'un d'eux a proposé que le Conseil des sciences plaide en faveur des progrès de l'I.A. et, plus particulièrement, fasse une analyse de ses avantages économiques et de ses applications futures.

Un autre intervenant a fait remarquer que le gouvernement canadien était en retard par rapport au grand public pour la prise de conscience de ces questions. Il a déclaré que, grâce aux divers médias, le public est très conscient de l'importance de l'I.A. et de l'évolution rapide de cette discipline au Japon et dans d'autres pays. Le public se rend compte que le Canada n'est pas dans la course.

L'ensemble des participants étaient d'accord pour recommander que les spécialistes de l'I.A. fassent pression auprès de tous les paliers d'administration pour faire comprendre leurs besoins. La Canadian Society for the Computational Study of Intelligence pourrait jouer un rôle important de sensibilisation de tout le pays à ce problème.

Leadership: demain, il sera trop tard

Les participants à l'Atelier estiment donc que les pouvoirs publics doivent agir rapidement pour montrer leur soutien à l'I.A., sans attendre les applications concluantes ou les développements spectaculaires. L'un d'eux a fait remarquer qu'une nouvelle technologie peut prendre la vedette, et a cité en exemple les fabricants japonais, qui ont conquis 90 pour cent du marché des magnétoscopes. Cette domination n'est due ni à une percée technologique ni à des découvertes fondamentales, mais à un perfectionnement graduel de cet appareil. De nombreux autres pays industriels avaient les capacités et le savoir-faire nécessaires pour obtenir les mêmes résultats mais, dans le cas du Japon, les initiatives de l'industrie ont été très bien étayées dès le départ. La confiance des Japonais dans l'avenir de leur produit a eu pour conséquence la conquête et le maintien d'un marché totalement nouveau.

La même dynamique peut s'appliquer à divers secteurs de l'I.A. Ce domaine évoluera probablement grâce à une série d'applications et d'améliorations dont chacune constituera un progrès modeste mais certain, plutôt qu'à une seule réalisation remarquable. Si le Canada veut participer à cette entreprise et s'assurer une part d'un marché potentiel énorme, les

autorités publiques doivent s'engager sérieusement et à long terme à soutenir la recherche et le développement. Si ce soutien ne se concrétise pas rapidement, les entreprises canadiennes et les chercheurs perdront la place qu'ils occupent actuellement dans ce domaine et se laisseront rapidement distancer par leurs concurrents des autres pays industriels.

Création d'un centre de recherches en I.A.

Si les pouvoirs publics se décident à investir dans la recherche en I.A., il faudrait trouver la meilleure façon d'utiliser ces fonds. Une solution consisterait à créer un centre d'I.A. Il n'existe au Canada aucun grand laboratoire privé spécialisé en ce domaine. Presque tous les experts se trouvent dans les universités, où ils travaillent en petites équipes qui disposent rarement d'un budget adéquat et doivent passer la plupart de leur temps à former des étudiants. Ces équipes sont toutefois dispersées dans tout le pays et, bien que la qualité de leurs travaux soit souvent excellente, il serait certainement plus avantageux de rassembler les chercheurs en groupes plus importants afin d'atteindre la "masse critique" qui permettra de stimuler et de faire progresser rapidement la recherche et le développement.

On peut envisager plusieurs scénarios. Le premier consisterait à créer un comité spécial du CRSNG qui financerait deux ou trois centres principaux de recherche. Le deuxième serait de créer un laboratoire commun au sein duquel de petits groupes pourraient partager les ressources et échanger leurs idées. Les chercheurs en I.A. ont besoin d'installations informatiques ultra-modernes. Actuellement, les immobilisations nécessaires atteignent de 50 000 à 150 000 $ par chercheur. Un grand centre de recherches ou de distribution pourrait procurer une telle capacité informatique, et l'infrastructure et les fonds nécessaires à l'élaboration de logiciels sur une longue période.

Les participants n'ont pas tous considéré le niveau insuffisant de la recherche universitaire comme le problème majeur en ce domaine. Certains estimaient que le secteur industriel avait encore plus besoin du soutien de

l'État, et qu'un centre d'I.A. devrait être construit pour mettre au point des applications industrielles*.

L'insuffisance actuelle du financement de la recherche a aussi pour effet de ne laisser aux nouveaux diplômés talentueux d'autre choix que d'aller travailler dans des laboratoires étrangers (généralement aux États-Unis). La disponibilité des postes n'a pas autant d'importance que l'émulation suscitée par la présence de groupes actifs et novateurs. La création de centres de recherche spécialisés en I.A. permettrait au Canada, non seulement de conserver ses propres spécialistes de talent, mais aussi d'attirer des chercheurs éminents de l'étranger.

Si un tel centre de recherches était construit, il devrait faire une place importante à la recherche appliquée. On s'est rendu compte depuis longtemps que la réunion sous un même toit d'équipes de recherche appliquée et de recherche fondamentale permet de réaliser les progrès les plus rapides et de créer un climat de travail fort stimulant.

Plusieurs intervenants ont signalé l'importance de maintenir une liaison étroite entre les centres de recherche et les universités. La majorité des travaux en I.A. sont effectués dans les facultés d'informatique, où le personnel est généralement surchargé de travail. Si on allouait les fonds nécessaires, les chercheurs universitaires pourraient être libérés en partie de leur charge d'enseignement et d'administration, et consacrer plus de temps à la recherche ou être détachés à temps partiel auprès d'un centre d'I.A.

L'intelligence artificielle et la diffusion du savoir-faire technique

Au cours de la deuxième journée de l'Atelier, la question de la technologie et de la recherche appliquée a fait l'objet d'un vif débat. Plusieurs intervenants du secteur industriel ont signalé que l'État subventionnait la

---

* voir p. 70.

recherche universitaire et la mise au point des produits, mais que rien n'était prévu pour la recherche appliquée en dehors du cadre universitaire. Plusieurs industriels ont précisé que l'effort de recherche appliquée en I.A. était très insuffisant. En plus d'un apport financier, cette recherche appliquée sera renforcée par l'établissement d'une communication plus efficace entre tous les secteurs oeuvrant dans ce domaine.

La diffusion du savoir-faire technique pose un problème majeur sur ce plan. Chaque découverte spectaculaire en laboratoire ne débouche pas nécessairement sur la mise au point d'un produit. L'exemple du groupe TAUM, qui a été démantelé pour les raisons que l'on connaît, montre bien comment une nouvelle technologie valable risque d'être perdue à jamais.

L'expérience montre qu'il ne suffit pas qu'un nouveau procédé ou dispositif soit commercialement attrayant, mais qu'il faut prendre des dispositions pour assurer la communication du savoir-faire technique correspondant dès la phase initiale d'un projet. Un trop grand nombre de chercheurs universitaires n'envisagent cet aspect que beaucoup trop tard. Or, la recherche en laboratoire semble souvent abstraite pour l'homme d'affaires, et il peut s'avérer difficile de convaincre un industriel de l'importance d'une innovation.

Un appel général a été lancé aux chercheurs universitaires en I.A. pour qu'ils s'intéressent plus au monde des affaires et tiennent davantage compte des conséquences et des applications de leurs travaux.

Plusieurs suggestions ont été faites en vue d'établir un lien plus étroit entre les deux aspects de l'I.A.: la recherche de base et la mise au point des produits. L'une d'elles portait sur la création d'un centre de recherches appliquées pour le secteur industriel.

La recherche appliquée exige un investissement important que la plupart des entreprises dans le domaine de la technologie de pointe ne peuvent se permettre. Par ailleurs, lorsqu'elles en accomplissent sur un sujet

nouveau, les entreprises passent généralement par toutes les mêmes étapes avant d'atteindre les avant-postes de la technologie. Cette multiplication d'efforts est un véritable gaspillage d'argent et de temps, mais les sociétés qui disposent de leurs propres laboratoires préfèrent généralement garder leurs résultats pour elles et ne pas collaborer avec d'autres groupes.

Il est possible qu'un centre de recherches appliquées, financé conjointement par l'État et l'industrie, et qui maintiendrait des liens étroits avec les universités soit la solution à ces problèmes. L'ensemble de l'industrie canadienne pourrait bénéficier des résultats des recherches accomplies. De plus, les entreprises auraient la possibilité de confier à ce centre des travaux de recherche dont les résultats ne seraient pas divulgués.

Quelle que soit la structure choisie, la majorité des participants estimaient qu'un tel centre ne devrait pas être entièrement sous la coupe de l'État et qu'il devrait favoriser les interactions entre la recherche fondamentale et l'effort de mise au point des produits.

Certains participants ont affirmé que la concentration de la recherche appliquée en un seul endroit risquait de supprimer tout esprit d'émulation. Par ailleurs, la concurrence est vive de la part du Japon, de l'Europe et des États-Unis. La question de la rétribution des chercheurs en I.A. a également été soulevée, et plusieurs industriels ont dit estimer qu'un chercheur devrait obtenir sa part lorsqu'un progrès auquel il a contribué est accompli.

RECOMMANDATIONS

Les recommandations suivantes ont été formulées au cours de l'Atelier:

1) Les autorités publiques devraient prendre conscience de la nature et de l'avenir de la recherche en I.A., y compris ses retombées économiques et applications futures. Elles devraient également se rendre compte de la nécessité de prendre immédiatement des mesures dans ce domaine en évolution très rapide.

2) L'État devrait confier un rôle de leadership ferme et à long terme à la collectivité des spécialistes de l'I.A.

3) Il faudrait mettre en évidence certains domaines particuliers, en fonction des besoins du pays, des marchés internationaux, des compétences actuelles en I.A. et de l'infrastructure industrielle déjà en place. Mentionnons par exemple l'utilisation des systèmes experts dans les domaines de l'exploitation des ressources, de la traduction automatique et de la robotique.

4) Le CRSNG devrait créer un comité en son sein pour financer la recherche en I.A. dans les universités.

5) Il faudrait fonder un ou plusieurs instituts de recherche qui réuniraient des équipes suffisamment nombreuses pour accomplir un effort soutenu d'innovation et de développement technique. Ces organismes

mettraient leurs installations et leurs puissants ordinateurs à la disposition des groupes plus petits.

6) Une attention particulière devrait être accordée à la recherche appliquée et à la diffusion du savoir-faire technique. Un institut de recherche appliquée, financé conjointement par l'État et l'industrie, devrait être créé.

7) On devrait entreprendre au Canada la conception et la construction des ordinateurs et des dispositifs d'I.A. destinés à des applications particulières.

8) Il faudrait mettre en place un réseau d'information électronique entre les spécialistes de l'I.A. De plus, le Conseil des sciences, le Conseil national de recherches ou d'autres organismes devraient organiser d'autres Ateliers de façon à améliorer la communication entre tous les secteurs de la recherche, du développement et de la diffusion de l'I.A. au Canada.

ORDRE DU JOUR

L'ATELIER SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE
réuni
sous les auspices du

Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe, Ottawa

20 janvier

de 9h à 9h30	Allocution de bienvenue par le Dr Stuart Smith Président Conseil des sciences du Canada
de 9h30 à 9h45	**Introduction par le président de séance** M. Jorge Miedzinski Directeur général adjoint Conseil des sciences du Canada
de 9h45 à 10h15	**Perspective sur l'intelligence artificielle** par le Professeur Zenon Pylyshyn Directeur Centre des études sur les facultés cognitives Université Western Ontario
de 10h15 à 10h45	Pause-café
de 10h45 à 11h15	**Représentation cognitive** par le Professeur John Mylopoulis Département d'informatique Université de Toronto
de 11h15 à 11h45	**Les progrès de la traduction automatique et du traitement en langage naturel** par MM. Pierre Isabelle et Laurent Bourbeau (TAUM)

de 11h45 à 12h15	**La programmation logique** par le Professeur Randy Goebel Département d'informatique Université de Waterloo
de 12h30 à 13h30	Repas
de 13h30 à 14h	**La perception informatique** par le Professeur Allan Mackworth Département d'informatique Université de la Colombie-Britannique
de 14h à 14h30	**Les systèmes de réponse** par le Professeur Ray Perrault Département d'informatique Université de Toronto
de 14h30 à 15h	**Les systèmes "experts"** par le Professeur Douglas Skuce Département d'informatique Université d'Ottawa
de 15h à 15h30	Pause-café
de 15h30 à 16h15	**Le rôle des pouvoirs publics et des laboratoires de l'État dans le développement de l'intelligence artificielle** Keith Glegg, Vice-président (Industrie) Conseil national de recherches
de 16h15 à 17h30	**Débat sur les orientations possibles des recherches canadiennes sur l'intelligence artificielle. Que faudrait-il faire, et comment?**

21 janvier

de 9h à 9h30	**Travaux sur la reconnaissance des mots et la synthèse de la parole dans les Laboratoires de recherches de Bell Northern, à Montréal** M. Maier Blostein
de 10h à 10h30	**Application de l'intelligence artificielle à la planification à long terme et à la prise de décisions** par le Professeur George Strobel Département de psychologie Université de Montréal

de 10h30 à 10h45	Pause-café
de 10h45 à 11h15	**L'intelligence artificielle et la bureautique** par le Professeur Tom Carey Département d'informatique Université de Guelph
de 11h15 à 12h30	**Débat sur les applications de l'intelligence artificielle: pour bientôt? et quelle qualité?**
de 12h30 à 13h30	Repas
de 13h30 à 14h	**Le matériel de l'intelligence artificielle** par le Professeur Thomaz Petrokowski Département d'informatique Université Acadia Wolfville, N.-É
de 14h à 14h30	**Le rôle de la théorie** par le Professeur Raymond Reiter Département d'informatique Université de la Colombie-Britannique
de 14h30 à 14h45	Pause-café
de 14h45 à 16h45	**L'intelligence artificielle constitue-t-elle une priorité pour le pays? Un système canadien de 5e génération: participation de l'industrie et du secteur public? D'où viendrait le financement?**
de 16h45 à 17h	Récapitulation des débats par M. Jorge Miedzinski

LISTE DES PARTICIPANTS

Lewis Auerbach
CRTC
Hull, Qué.

John W. Ball
GEAC Computers
Markham, Ont.

Robert Baser
Ministère des Communications
Ottawa, Ont.

Marc Beauchamp
Président
Novacap Investments
Montréal, Qué.

Laurent Bourbeau
Bureau des traductions
Direction de la technologie
Secrétariat d'État
Hull, Qué.

David Burden
Convergent Technologies
Ottawa, Ont.

le Professeur Tom Carey
Université de Guelph
Guelph, Ont.

le Professeur Nick Cercone
Département d'informatique
Université Simon Fraser
Burnaby, C.-B.

Donald Chisholm
Président
Innovation & Development
Northern Telecom Limited
Mississauga, Ont.

William Coderre
Conseil national de recherches
Ottawa, Ont.

John Collins
AES Data
Montréal, Qué.

Arthur J. Cordell
Conseil des sciences du Canada
Ottawa, Ont.

Alistair Davidson
Laventhol and Horwath
Toronto, Ont.

Nick Dawes
Systemhouse Ltd.
Ottawa, Ont.

Denzil Doyle
Kanata, Ont.

le Professeur E.W. Elcock
Département d'informatique
Université Western Ontario
London, Ont.

Nardin Ghahary
HiTech Canada
Ottawa, Ont.

le Professeur Randy Goebel
Département d'informatique
Université de Waterloo
Waterloo, Ont.

Takashi Gomi
Gomi A.I. Systems
Kanata, Ont.

Gerald Grant
Woods Gordon
Toronto, Ont.

Pierre Isabelle
Montréal, Qué.

Kenneth Iverson
I.P. Sharp Associates Ltd.
Toronto, Ont.

A. Kasvand
Conseil national de recherches
Ottawa, Ont.

le Professeur Roger Kaye
Département d'informatique
Université Carleton
Ottawa, Ont.

le Professeur Richard Kittredge
Département de linguistique
et philologie
Université de Montréal
Montréal, Qué.

Maurice L'Abbé
Conseil des sciences du Canada
Ottawa, Ont.

le Professeur Wilf Lalonde
Département d'informatique
Université Carleton
Ottawa, Ont.

J. James Mackie
Vice-président
Mitel Corporation
Kanata, Ont.

le Professeur Allan Mackworth
Département d'informatique
Université de la
Colombie-Britannique
Vancouver, C.-B.

J. Maksym
Defence Research Establishment
(Atlantic)
Darthmouth, N.-É.

Gwynneth Martin
Conseil du Trésor
Ottawa, Ont.

David McCart
SB Capital
Toronto, Ont.

Murdoch McKinnon
CAE Electronics Ltd.
Montréal, Québec

P. Mermelstein
Bell Northern Research
Montréal, Qué.

J. Miedzinski
Conseil des sciences du Canada
Ottawa, Ont.

J. de Montigny
Convergent Technologies
Ottawa, Ont.

Renato de Mori
Professeur associé
Département d'informatique
Université Concordia
Montréal, Qué.

Margaret Munro
Southam News
Ottawa, Ont.

le Professeur John Mylopoulis
Département d'informatique
Université de Toronto
Toronto, Ont.

Nobuyuki Otsu
(Chercheur invité au CNRC) et
Chercheur principal
d'ingénierie mathématique des
sciences informatiques
Laboratoire électrotechnique
Ottawa, Ont.

le Professeur Ray Perrault
Département d'informatique
Université de Toronto
Toronto, Ont.

le Professeur Thomaz Pietrzykowski
École d'informatique
Université Acadia
Wolfville, N.-É.

Birendra Prasada
Bell-Northern Research
Verdun, Qué.

John Pugh
École d'informatique
Université Carleton
Ottawa, Ont.

Kenneth Pulfer
Vice-président (Laboratoires)
Conseil national de recherches
Ottawa, Ont.

le Professeur Zenon Pylyshyn
Département d'informatique
Université Western Ontario
London, Ont.

le Professeur Raymond Reiter
Département d'informatique
Université de la Colombie-Britannique
Vancouver, C.-B.

Judith Scott
Gandalf Technologies Inc.
Manotick, Ont.

Robert W. Shaw
Travaux publics Canada
Ottawa, Ont.

le Professeur Douglas Skuce
Département d'informatique
Université d'Ottawa
Ottawa, Ont.

Alfred Stein
Continuum
Toronto, Ont.

Bob Steklasa
Financial Post
Ottawa, Ont.

David Stewart-Patterson
The Globe and Mail
Ottawa, Ont.

le Professeur M.G. Strobel
Département de psychologie
Université de Montréal
Montréal, Qué.

G.D. Sutton
Président
Canadian Enterprises
Development Corporation Ltd.
Toronto, Ont.

Marla Tenenbaum
Elliott & Page
Toronto, Ont.

Andrej Tenne-Sens
Ministère des Communications
Ottawa, Ont.

le Professeur John Tsotsos
Département d'informatique
Université de Toronto
Toronto, Ont.

George Young
Industrie et Commerce
Ottawa, Ont.

le Professeur S.W. Zucker
Laboratoire de vision artificielle et de robotique
Département d'électrotechnique
Université McGill
Montréal, Qué.